



Serie **Comunicación**

Iniciación a la **Aeronáutica**

ANTONIO CREUS SOLE

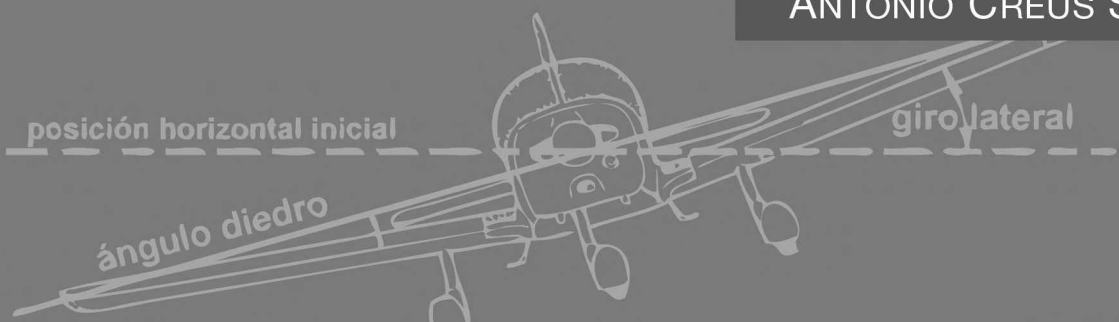




Serie **Comunicación**

Iniciación a la **Aeronáutica**

ANTONIO CREUS SOLE



INICIACIÓN A LA AERONÁUTICA

ANTONIO CREUS SOLE

INICIACIÓN A LA AERONÁUTICA

© Antonio Creus Sole, 2010

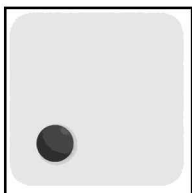
Reservados todos los derechos.

«No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.»

Ediciones Díaz de Santos
Albasanz, 2
28037 MADRID

E-mail: ediciones@diazdesantos.es
Internet: <http://ediciones.diazdesantos.es>
Fundación Universitaria Iberoamericana
E-mail: funiber@funiber.org
Internet: <http://www.funiber.org>

ISBN: 978-84-7978-937-4 (Versión papel)
ISBN: 978-84-9969-017-9 (Versión electrónica)



Agradecimientos

Este libro ha sido posible gracias a la experiencia en temas aeronáuticos adquirida en la empresa GAVINA (Grupo Aviación y Náutica S.L.) de la que fui socio fundador. Los diversos aspectos relacionados con la creación de una escuela de vuelo de pilotos privados, el pilotaje de los aviones Robin de la escuela, su transporte en vuelo desde la fábrica de Dijon (Francia) hasta el aeropuerto de Sabadell, las demostraciones, y todas las actividades que comporta su manejo, me inclinaron a plasmar en este libro mi afición por la aviación.

Desde el punto de vista comercial, el mundo de la aviación no es fácil. Es necesario buscar alumnos y pilotos que utilicen los aviones como entrenamiento, y dentro de la dureza del trabajo, compensa, no solo los ratos de vuelo sino también el contacto y el apoyo de los alumnos y pilotos. Entre ellos debo agradecer especialmente la ayuda del doctor Oriol Doménech que nos infundió ánimos en los momentos difíciles y que nos facilitó durante un tiempo su propio despacho para impartir las clases teóricas. Tengo también una deuda de gratitud con el anterior Director del aeropuerto de Sabadell don Antonio Navarro, por su apoyo general a las empresas sitas en el aeropuerto, y con el Jefe de la Torre de Control de Sabadell, don Juan Esteban Linares, por sus valiosos conocimientos aeronáuticos.

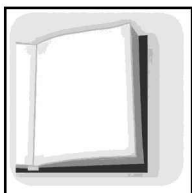
También unas palabras de agradecimiento a los instructores que hicieron posible la calidad de enseñanza de las clases prácticas de la Escuela, en especial a don Miguel Zendrera, por su dedicación y su entusiasmo.

Asímismo debo mencionar a los amigos y compañeros pilotos asiduos de GAVINA, Juan Arriaga, Miquel Barroeta, Victor Esquerra,

Francesc Hombravella y Remy Vincent, entre otros, por las comidas y cenas periódicas hablando de aviones y por el clima aeronáutico creado en el entorno amigable del hangar de GAVINA de Josep Quera.

Agradezco a mi mujer Carmen y a mi hija Ariadna su ayuda, su paciencia y su comprensión por el tiempo que he dejado de dedicarles a lo largo de las muchas horas empleadas en este libro.

ANTONIO CREUS SOLE



Índice

Prólogo	XV
Capítulo 1 •• Introducción: las aeronaves.....	1
Capítulo 2 •• Aerodinámica	5
2.1. El aire	5
2.2. Las alas	7
2.2.1. Generalidades	7
2.2.2. Teorema de Bernouilli	7
2.2.3. Coeficientes C_L y C_D	9
2.2.4. Sustentación y resistencia	10
2.2.5. Curva polar	11
2.2.6. Perfil aerodinámico de un ala	12
2.2.7. Torbellinos de punta del ala	14
2.2.8. Dispositivos de freno e hipersustentadores	15
Capítulo 3 •• Motores	21
3.1. Motor de combustión interna	21
3.1.1. Generalidades	21
3.1.2. Ciclo de funcionamiento	23
3.1.3. Sistema de refrigeración	25
3.1.4. Sistema de lubricación	26
3.1.5. Combustible	27
3.1.6. Control de la salida de potencia. La hélice	27
3.1.7. Potencia del motor	32
3.2. Turbina de gas	34
3.3. Avión con motor cohete	36
3.4. Mochila individual de chorro de aire (<i>JetPack</i>)	37

3.5.	Avión con motor eléctrico alimentado con baterías	37
3.6.	Avión con motor eléctrico alimentado con pilas de hidrógeno	38
Capítulo 4 ••	Estructura de la aeronave	41
4.1.	Tipos de fuselaje	41
4.2.	Estructura del ala	42
4.3.	Empenaje o cola	44
4.4.	El fuselaje y tren de aterrizaje	45
4.5.	El morro	46
4.6.	Accesorios	46
4.7.	Sistema de combustible	47
4.8.	Sistema hidráulico	49
4.9.	<i>Fly-by-wire</i>	49
Capítulo 5 ••	Comportamiento de la aeronave en vuelo	53
5.1.	Fuerzas que actúan sobre el avión en vuelo	53
5.2.	Pérdida	55
5.3.	Barrena	57
5.4.	Mandos y superficies de vuelo	58
5.5.	Carga y centrado	61
5.6.	Maniobras de vuelo	62
5.6.1.	Estabilidad	63
5.6.2.	Virajes	65
5.6.3.	Despegue	67
5.6.4.	Aterrizaje	68
5.7.	Maniobras básicas	71
5.7.1.	Técnicas usuales en pilotaje	71
5.7.2.	Pilotaje en vuelo instrumental	73
Capítulo 6 ••	Los instrumentos del avión	77
6.1.	Instrumentos de vuelo	78
6.1.1.	Anemómetro	78
6.1.2.	Altímetro	84
6.1.3.	Variómetro	89
6.1.4.	Brújula magnética	91
6.1.5.	Instrumentos giroscópicos.....	93
6.2.	Instrumentos del motor	98

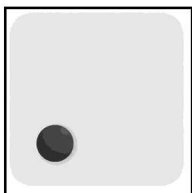
6.2.1.	Palanca del gas.....	99
6.2.2.	Mando de calefacción del carburador.....	99
6.2.3.	Mando de la mezcla aire-gasolina	101
6.2.4.	Selector de magnetos/Starter	104
6.2.5.	Tacómetro	104
6.2.6.	Indicador de la presión de admisión (<i>manifold</i> - MP).....	104
6.2.7.	Contador de horas y minutos.....	109
6.2.8.	Manómetro de aceite.....	109
6.2.9.	Termómetro de aceite.....	110
6.2.10.	Indicador de presión de combustible	110
6.2.11.	Indicador de nivel de combustible.....	111
6.2.12.	Amperímetro	112
6.2.13.	Termómetro del aire del carburador	112
6.2.14.	Termómetro de la culata del cilindro	112
6.2.15.	Indicador de temperatura del gas de escape	113
6.2.16.	Termómetro del aire exterior.....	114
6.2.17.	Vacuómetro	114
6.2.18.	Reloj	115
6.2.19.	Cuadro de luces.....	115
6.2.20.	Monitor de cilindros.....	115
6.3.	Instrumentos de navegación	119
6.3.1.	ADF (<i>Automatic Direction Finder</i>)	119
6.3.2.	VOR (<i>Very High Frequency Omnidirectional Range</i>)	120
6.3.3.	Navegación de área (RNAV)	123
6.3.4.	Respondedor (<i>Transponder</i>).....	124
6.3.5.	Sistema PCAS (<i>Portable Collision Avoidance Systems</i>)	125
6.3.6.	El sistema TCAS (<i>Traffic-Alert and Collision Avoidance System</i>).....	126
6.3.7.	LORAN (<i>Long Range Navigation</i>)	128
6.3.8.	GPS (<i>Global Positioning System</i>)	128
6.3.9.	Indicador radiomagnético (RMI).....	131
6.3.10.	RLG (<i>Ring Laser Gyro</i>)	131
6.3.11.	ILS (<i>Instrument Landing System</i>).....	132
6.3.12.	Indicador de situación horizontal (HSI)	134
6.3.13.	Sistema de aumento de área local (LAAS: <i>Local Area Augmentation System</i>)	135
6.4.	Equipos de comunicaciones	136
6.5.	Cabina de cristal (<i>glass cockpit</i>)	137
Capítulo 7 ••	Meteorología	143
7.1.	Generalidades	143

7.1.1.	La atmósfera	144
7.1.2.	Medición de la temperatura	145
7.1.3.	Transferencia del calor	146
7.1.4.	Medición de la presión atmosférica	147
7.2.	Vientos	150
7.2.1.	Gráficos de isobaras	151
7.2.2.	Efecto de la rotación de la Tierra: fuerza de Coriolis	153
7.2.3.	Viento de gradiente, viento geostrófico	154
7.2.4.	Sistemas prevalentes en la presión en el mundo.....	155
7.2.5.	Efectos locales del viento en la superficie	156
7.2.6.	Ondas de montaña	158
7.2.7.	Notificación de la velocidad del viento	160
7.2.8.	Corriente de chorro	160
7.3.	Nubes	161
7.4.	Frentes	164
7.5.	Peligros del vuelo dentro de las nubes	165
7.6.	Información meteorológica	169
Capítulo 8 •• Espacio aéreo y derecho aeronáutico		175
8.1.	Introducción al derecho aéreo	175
8.2.	Reglas de vuelo	175
8.3.	Clasificación del espacio aéreo	176
8.4.	Regla semicircular	179
8.5.	Plan de vuelo	182
8.6.	Notams	184
8.7.	Procedimientos en socorro o urgencia	184
8.8.	Títulos y licencias de piloto	185
8.9.	Mantenimiento de los aviones	221
Capítulo 9 •• Navegación.....		223
9.1.	Generalidades	223
9.2.	La Tierra	223
9.2.1.	Coordenadas: longitud y latitud	224
9.2.2.	Coordenadas UTM	224
9.3.	Cartas, mapas y publicaciones	225
9.4.	Rumbos geográfico y magnético – Declinación	227
9.5.	Cálculo de rumbos y distancias	227

9.6.	Triángulo de velocidades	228
9.7.	Navegación observada y a la estima	230
9.8.	Navegación por instrumentos	232
Capítulo 10 •• Fisiología aeronáutica y factores humanos	245	
10.1.	Forma física	245
10.1.1.	Forma física deficiente	245
10.1.2.	Régimen alimenticio	245
10.1.3.	Dolencias leves comunes	246
10.1.4.	Medicamentos	247
10.1.5.	Estrés	249
10.1.6.	Alcohol	249
10.1.7.	Tabaco	250
10.2.	Hipoxia	251
10.3.	Hiperventilación	254
10.4.	Gases comprimidos	255
10.4.1.	Sistema gastrointestinal	255
10.4.2.	Senos paranasales	255
10.4.3.	Cavidades dentarias	256
10.4.4.	Oídos	256
10.4.5.	Disbarismo	256
10.4.6.	Descompresión	257
10.5.	Sistema normal de orientación	257
10.5.1.	Vista	257
10.5.2.	Oído interno	258
10.5.3.	Orientación espacial	260
10.5.4.	Ilusiones sensoriales	261
10.6.	Factores humanos	264
10.6.1.	Generalidades	264
10.6.2.	Modelos y tipos de errores	265
10.6.3.	Vuelo en las cabinas de cristal	267
Capítulo 11 •• El vuelo	269	
11.1.	Generalidades	269
11.2.	La preparación	269
11.3.	En el avión	273
Capítulo 12 •• Las otras aeronaves	283	
12.1.	Los aeróstatos	283



12.1.1. El globo	283
12.1.2. El dirigible	284
12.2. Ala rotatoria	284
12.2.1. El autogiro	284
12.2.2. El helicóptero	288
12.3. Los planeadores	290
12.4. Avión con motor cohete	291
12.5. Avión con motor eléctrico alimentado con baterías o con pila de combustible de hidrógeno	292
12.6. Aviones de construcción amateur	292
12.7. Ultraligeros	293
12.8. Ala delta	297
12.9. Parapente	297
12.10. Cohetes y naves espaciales	298
Capítulo 13 •• Historia de la aviación	301
13.1. Los orígenes	301
13.2. Los pioneros prácticos	303
13.3. Los aviones de la segunda guerra mundial	306
13.4. Los logros espectaculares	307
13.5. Los autogiros y helicópteros	310
13.6. El espacio	312
Capítulo 14 •• Profesiones relacionadas con la aviación	317
14.1. Controladores	317
14.2. Mecánicos de aviación	322
14.3. Tripulantes de cabina de pasajeros (TCP)	328
Apéndice	335
Glosario de términos aeronáuticos	353
Bibliografía	361



Prólogo

Este libro está pensado como introducción a la aeronáutica para el lector que se inicia en estos conocimientos, bien sea por curiosidad, o cómo no, con la idea de ser piloto algún día, y como complemento para los estudiantes, los pilotos y los instructores de vuelo. El objetivo del autor ha sido doble, por un lado escribir de un modo riguroso y preciso que no deje nada al azar ni a la improvisación, y por el otro intentar conseguir un relato novelesco, relajado, agradable y poético.

Cuando se vuela un avión se puede realizar con dos mentalidades distintas. Una muy cerebral, estudiando los movimientos necesarios en las palancas y los mandos para evitar que el aparato se estrelle y pase a ser un montón de chatarra, y la otra, con el corazón, viviendo el vuelo y las reacciones del avión, a través de los mandos, como si estos fueran una prolongación de los miembros del piloto. En este segundo caso, el alma del aparato se va incorporando poco a poco a la personalidad del piloto, con lo que el oficio de volar se convierte en un arte en forma análoga a la del pintor que mejora sus cuadros de día en día. Y es así como el piloto siente el placer de volar, como una mezcla embriagadora entre la visión del paisaje desde el aire y la habilidad de llevar un aparato tan complicado y a la vez tan sencillo como es un avión. Además, lo mismo que el aficionado al mar, que admira las infinitas formas que éste presenta a lo largo del día, el piloto se mueve en un medio, la atmósfera, que cambia continuamente de condiciones y de aspecto, de tal manera que ningún vuelo es igual a otro. El piloto que no tenga el propósito de mejorar su técnica en cada vuelo es como el artista pintor que pinta siempre los mismos cuadros sin perfeccionar su estilo. Puede tener muchas horas de vuelo, pero si no las ha practicado a conciencia, cualquier día tomará la decisión errónea de salir a volar

en condiciones marginales de tiempo que personalmente no podrá asumir con seguridad; en lugar de renunciar al vuelo y quedarse en tierra, el vuelo se le planteará como una cuestión de desafío personal frente a la atmósfera.

Un avión es una máquina que es fruto del trabajo continuo de perfeccionamiento de todos los actores que intervienen (fabricantes, pilotos, compañías explotadoras, etc.). La tripulación de un gran avión de pasajeros dispone de la última versión de los instrumentos (cabina de vidrio o glass cockpit) que le permiten navegar y volar con seguridad. Cuando la sofisticación es extrema no es infrecuente ver a un piloto de un avión de transporte o de pasajeros, volar en sus ratos libres con una avioneta o con un ultraligero para congraciarse de nuevo con la atmósfera y con la tierra. El piloto es libre para volar simplemente los fines de semana desde un único aeropuerto local, o bien para realizar viajes a otros aeropuertos, incluso fuera del país, practicando la fraseología aeronáutica en otro idioma o en inglés (idioma internacional en aviación).

En otras palabras, mientras se sienta íntimamente, el volar es lo que uno quiere que sea, puede ser la profesión para toda la vida, o bien una diversión que ayude a relajarse y a trabajar a pleno ritmo durante el resto de la semana.

Introducción: las aeronaves

1

Las aeronaves son vehículos diseñados para volar, cualquiera que sea su modo de sustentación o propulsión. Se clasifican en más ligeros que el aire y más pesados que el aire.

Los más ligeros que el aire (aeróstatos) contienen un gas (hidrógeno, helio, aire caliente) que les proporciona sustentación. Son:

- **Globos:** que flotan en el aire sin dirección, sometidos al capricho de los vientos, y los dirigibles dotados de motor y timones que pueden maniobrarse en todas direcciones.



Figura 1.1. Globo y dirigibles. Fuente: Ultramagic y Good Year.

Los más pesados que el aire (aerodinos) son:

- **Alas fijas:** que aseguran la sustentación por la acción dinámica del aire sobre unos planos fijos. Se clasifican en:



- *Avión*: dotado de un fuselaje, las alas, el empenaje, los timones y uno o varios motores que propulsan el aparato.
- *Planeador*: que no dispone de motor y es remolcado hasta una cierta altura. El piloto, para mantenerse en el aire, busca ascendencias cuya velocidad vertical sea mayor que la de descenso del aparato.
- *Ultraligero*: avión de un peso máximo limitado, de chasis tubular, con alas recubiertas de tela o bien de material composite, que puede ser de dos o tres ejes de mando, o tener el chasis suspendido del ala (modelo pendular).
- *Ala delta*: formada por alas tubulares recubiertas de tela de las que va suspendido el piloto y que gobierna por el desplazamiento de su cuerpo.
- *Parapente*: formado por unas alas que se hinchan con el viento de la marcha, de las que va suspendido el piloto y que gobierna con unos cables que pliegan lateralmente las puntas. Puede ser motorizado.



Figura 1.2. Alas fijas (*avión, planeador, ultraligero, ala delta y parapente sin motor y motorizado*).

- **Alas rotatorias:** que disponen de palas giratorias que actúan como alas proporcionando la sustentación, y que se clasifican en:
 - *Autogiro:* que asegura la sustentación con una hélice de gran diámetro que gira libremente por la acción del aire de la marcha.
 - *Helicóptero:* que se sostiene por una hélice de gran diámetro, que actúa como un ala y es accionada por un motor.
 - *Tilt rotor (rotor inclinable):* que combina dos hélices inclinables (pro-rotors) para la suspensión y la propulsión. En vuelo vertical las hélices actúan como las palas de un helicóptero y, a medida que se van inclinando hacia delante, el aparato gana velocidad hasta convertirse en un avión.



Figura 1.3. Alas rotatorias (autogiro, helicóptero y rotor orientable –tilt rotor).

Aerodinámica

2

2.1. EL AIRE

El aire es el fluido en el que se mueve el avión. Los gases que componen el aire son O₂, N₂, CO₂ y otros gases nobles en muy pequeña proporción. El aumento de temperatura incrementa la energía de las moléculas de los gases, de tal modo que aumenta su volumen. La presión influye también en el volumen ocupado por el aire. Un aumento de presión reduce el volumen, mientras que una disminución de presión lo aumenta. La presión, el volumen y la temperatura del aire se influyen mutuamente, según las siguientes fórmulas básicas que los relacionan:

Ecuación de los gases perfectos:

$$\frac{\text{Presión} * \text{Volumen}}{\text{Temperatura absoluta}} = \text{Constante}$$

Ley de Boyle-Mariotte:

$$\text{Presión} * \text{Volumen} = \text{Constante}$$

La unidad de presión es el *pascal*, que es la presión que ejerce una fuerza de un newton (fuerza que produce una aceleración de 1 metro/segundo cada segundo sobre un kilogramo masa) sobre una superficie de un metro cuadrado. Se abrevia Pa. Otras equivalencias son:

1 milibar (mb)

$$= 100 \text{ Pascal (Pa)} = 1 \text{ Hectopascal (Hpa)} = 0,02953 \text{ pulgadas columna de mercurio ('c.d.Hg)}$$

$$1 \text{ atmósfera (atm)} = 1.013,2 \text{ milibares (mb)} = 760 \text{ mm mercurio} = 29,92 \text{ pulgadas columna mercurio ('c.d.Hg)} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$$

La unidad de volumen es el *metro cúbico* (m³).



La unidad de temperatura es el *grado centígrado*, con 0 °C como punto de congelación del agua y 100 °C como punto de ebullición del agua. Otras equivalencias son:

- *Grados Fahrenheit* (°F) (congelación del agua a 100 °F y ebullición del agua a 212 °F).
- *Grados Kelvin* (°K) (0 °K es el punto de energía nula de las moléculas y el punto de congelación del agua es de 273,15 °Kelvin (K)).

El avión vuela en el seno del aire en condiciones de presión, temperatura y volumen que cambian durante el vuelo, lo que dificulta la comparación de las características de los diferentes modelos de aviones y sus actuaciones (performances). Por este motivo se ha creado una definición de *atmósfera tipo o estándar*.

La *atmósfera tipo o estándar* es la atmósfera ideal definida por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), como la que a nivel del mar tiene una temperatura de 15 °C y una presión atmosférica de 1.013,2 mb (29,92 “ de Hg o 760 mm Hg) y 0% de humedad. La temperatura va disminuyendo con la altura en una relación de 2 °C/1.000 pies (6,5 °C/1000 m) hasta una altitud de 36.090 pies (11.000 m) donde es constante e igual a -56,5 °C. En la Tabla 2.1 figuran los valores de la presión y de la temperatura según la altura, de la atmósfera tipo internacional (*International Standard Atmosphere*).

Tabla 2.1. *Atmósfera tipo internacional (ISA) (OACI, 1962).*

Altura (pies)	t °C	mb	" Hg	Altura (pies)	t °C	mb	" Hg
0	15	1013,2	29,92	16.000	-15.7	572	16,89
1.000	14.0	977	28,86	17.000	-17.7	549	16,22
3.000	13.0	942	27,82	19.000	-20.7	506	14,95
4.000	10.1	908	26,82	20.000	-25.6	466	13,76
5.000	8.1	875	25,84	23.000	-29.6	428	12,65
6.000	6.1	843	24,9	25.000	-33.5	392	11,61
7.000	4.1	812	23,98	27.000	-37.5	361	10,64
8.000	1.1	782	23,09	29.000	-40.5	329	9,74
9.000	-0.8	752	22,23	30.000	-45.4	301	8,9
10.000	-3.8	724	21,39	33.000	-49.4	274	8,12
11.000	-5.8	697	20,58	35.000	-53.4	250	7,4
13.000	-7.8	670	19,8	37.000	-56.5	227	6,73
14.000	-9.8	644	19,03	39.000	-56.5	207	6,1
14.000	-11.7	619	18,3	40.000	-56.5	188	5,54
15.000	-14.7	595	17,58				

2.2. LAS ALAS

2.2.1. Generalidades

Las partes principales de un avión son las *alas*, que producen la sustentación; el *empenaje* o la cola del avión con su *timón de altura* y su *timón de dirección* que gobiernan el vuelo; el *fuselaje*, que une los elementos anteriores, y el *tren de aterrizaje*. La parte delantera del avión suele albergar el motor y el panel de instrumentos, aparte de servir de referencia visual al piloto durante el vuelo.



Figura 2.1. Partes principales de un avión.

El avión genera la fuerza de sustentación en las *alas*, al moverse a una cierta velocidad a través del aire. El ala es de sección redondeada por delante, casi plana por su parte inferior y afilada por detrás. La parte superior se llama *extradós* y la parte inferior *intradós*. Su forma provoca un estrechamiento de los filetes de aire que chocan con el ala durante el vuelo.

2.2.2. Teorema de Bernouilli

El *teorema de Bernouilli* relaciona la presión (p) y la velocidad (v) del aire (densidad) entre dos puntos situados a la misma altura en el seno de un flujo de corriente, según la fórmula:

$$p + \frac{\rho * v^2}{2} = \text{constante}$$

Por consiguiente, un aumento de la velocidad del aire se traduce en una disminución de la presión, mientras que una disminución en la velocidad comporta un aumento. En el ala, las partículas de aire que pasan por encima y las que pasan por debajo, deben llegar al mismo tiempo al borde de salida.

Por lo tanto, la velocidad del aire es mayor en la parte superior del ala (*extradós*), que tendrá así una menor presión (succión). En la parte inferior (*intradós*), al ser menor

la velocidad del aire por oponerse el ala al movimiento, existirá una mayor presión. La diferencia de presiones entre el *extradós* y el *intradós*, produce una fuerza hacia arriba que es la fuerza de sustentación que soporta el peso del avión.

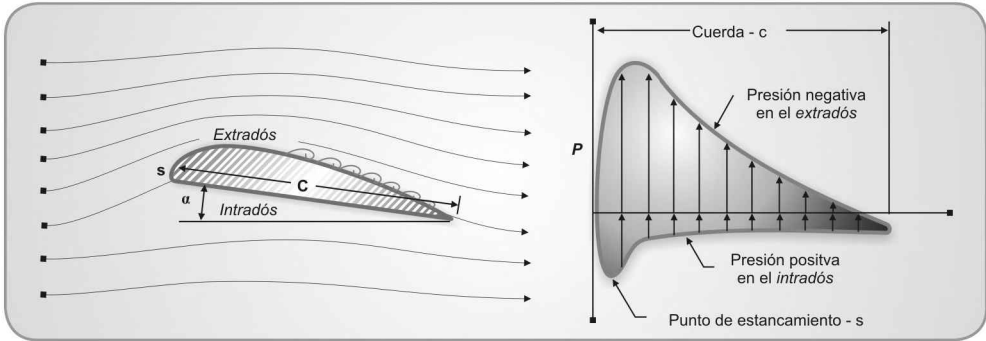
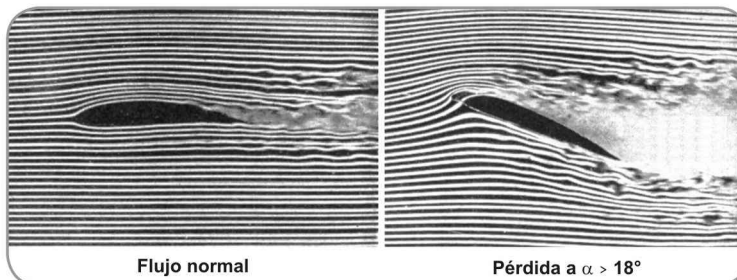


Figura 2.2. Ala de un avión.

La componente perpendicular será la *sustentación* propiamente dicha, mientras que su componente horizontal será la *resistencia* al avance.

El *ángulo de ataque* es el ángulo que forma el perfil del ala con la dirección del viento. Al aumentarlo, las partículas que pasan por la parte superior del ala alargan más su recorrido, por lo que aumentan todavía más su velocidad y por consiguiente se incrementa la succión sobre el ala y el avión asciende. Lo contrario ocurre cuando disminuye el ángulo de ataque.

La *capa límite* es la distancia que existe entre la superficie del ala, donde la velocidad de las partículas de aire que fluyen es nula debido al rozamiento, y la corriente libre, donde la viscosidad entre las capas ya no influye y la velocidad ya es igual a la del movimiento del avión con respecto al aire. La capa límite se desprende del ala para valores grandes del ángulo de ataque, lo que se llama *pérdida*. Los dispositivos que impiden su desprendimiento (flap ranurado, aspiradores de capa límite, etc.) retardan la entrada en pérdida del avión. En los aviones existe un dispositivo en el ala llamado avisador de pérdida que hace sonar una bocina en la cabina del piloto cuando el avión está próximo a la pérdida en unos 3 a 6 nudos (5 a 10 km/h).



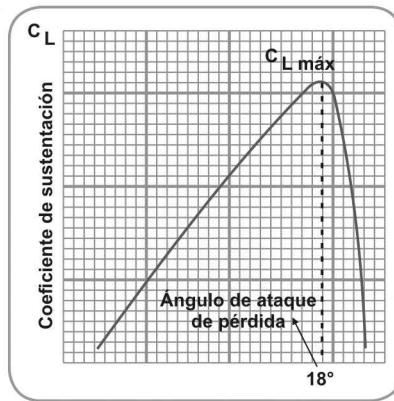
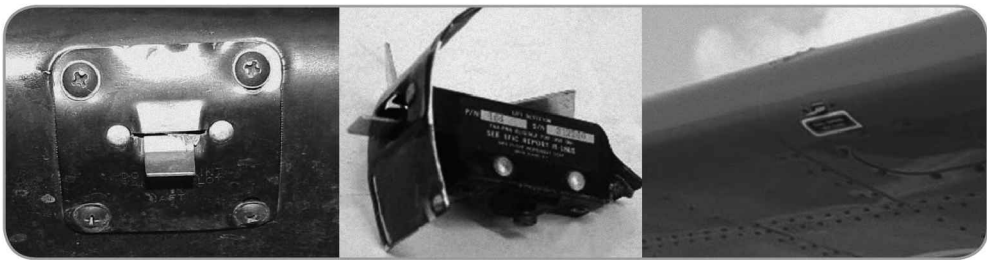


Figura 2.3. Flujo normal, pérdida en un ala y avisador de pérdida.

2.2.3. Coeficientes C_L y C_D

Realizando experimentos en un túnel aerodinámico con un perfil asimétrico de ala y midiendo la *sustentación* L y la *resistencia* D a diferentes ángulos de ataque α , se obtiene un coeficiente C_L sin dimensiones.

$$C_L = \frac{L}{q * S}$$

Siendo: L = sustentación

q = presión dinámica ($q = \frac{1}{2} v^2$)

S = superficie alar

De modo análogo se obtiene el coeficiente de resistencia C_D definido como el cociente:

$$C_D = \frac{D}{q * S}$$

Siendo: D = resistencia

q = presión dinámica ($q = \frac{1}{2} v^2$)

S = superficie alar

En la figura se representa el valor de C_L en función del ángulo de ataque:

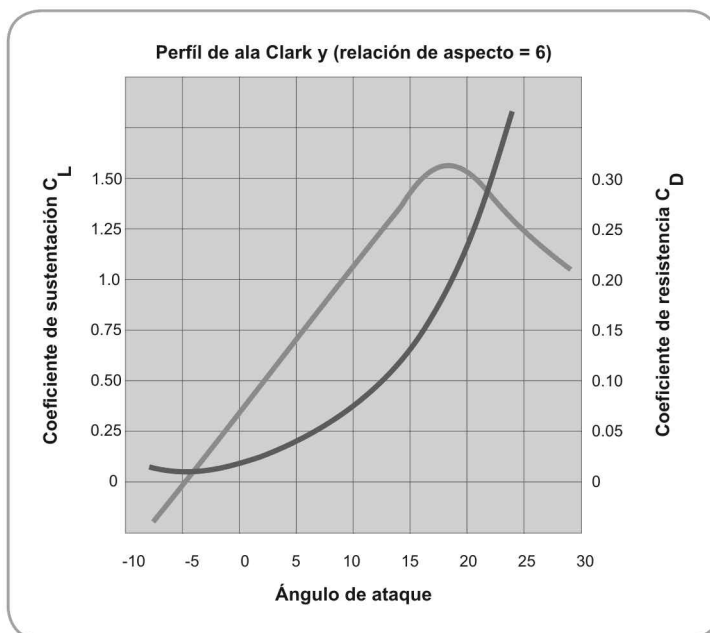


Figura 2.4. Coeficientes de sustentación C_L y resistencia C_D para un perfil de ala Clark Y.

En la curva se aprecia que la sustentación L aumenta proporcionalmente al ángulo de ataque, y que se anula (entrada en pérdida) cuando el ángulo de ataque α es de unos 18° . En estas condiciones, y debido a la fuerza centrífuga, los filetes de aire son incapaces de seguir el perfil alar y lo abandonan en forma de remolinos. Se observa que el coeficiente de resistencia C_D es mínimo para un ángulo de ataque ligeramente negativo y que después crece exponencialmente.

2.2.4. Sustentación y resistencia

Cuando el avión vuela en horizontal, el peso es igual a la sustentación, es decir:

Como el coeficiente de sustentación C_L es función del ángulo de ataque α , se deduce que para transportar un peso determinado puede realizarse a varias velocidades con distinto ángulo de ataque α , y que a mayor velocidad menor será el ángulo de ataque.

$$W = \frac{1}{2} \rho * V^2 * S * C_L$$

La resistencia es:

$$D = \frac{1}{2} \rho * V^2 * S * C_D$$

Está claro que para vencer esta resistencia es necesario proporcionar un empuje de sentido contrario mediante un motor, o bien utilizar la acción de la gravedad cuando el avión planea con el motor al ralentí.

2.2.5. Curva polar

Otto Lilienthal (1848 - 1896) fue el primero que obtuvo la curva llamada *polar* que relaciona los valores de la sustentación W y de la resistencia D , es decir, la relación equivalente entre los coeficientes C_L y C_D para diversos ángulos de ataque. La curva polar es el retrato aerodinámico del ala. El rendimiento aerodinámico del ala es tanto más elevado cuanto mayor sea la relación C_L/C_D . Esta relación recibe el nombre de *finura aerodinámica*. La tangente desde el origen de coordenadas a la curva polar proporciona la finura aerodinámica máxima. La curva polar completa del avión es idéntica a la curva polar del ala, desplazada en el eje de abscisas en un valor igual a las resistencias adicionales debidas a los elementos encastrados tales como el fuselaje, el empenaje, los motores, el tren de aterrizaje, etc.

Examinando las fórmulas anteriores de la sustentación y de la resistencia se observa que dependen de la presión dinámica ($\frac{1}{2} \rho v^2$) sobre el ala. Las prestaciones del avión dependerán por lo tanto del valor de la densidad ρ del aire, que depende a su vez de la temperatura y de la presión. Así pues, a mayor presión o menor temperatura del aire, habrá una mayor densidad y por lo tanto una mayor sustentación y resistencia, y a la inversa, a menor presión o mayor temperatura del aire, menor densidad y por lo tanto menor sustentación y resistencia.

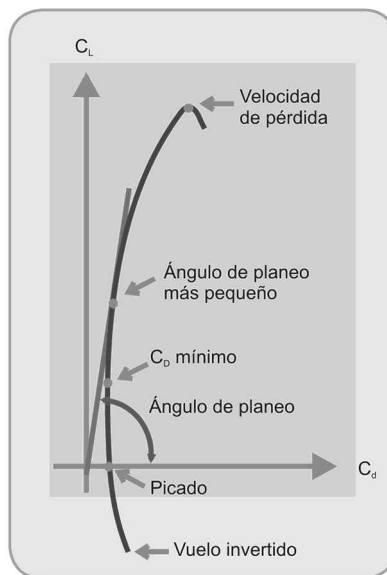


Figura 2.5. Curva polar.

Consultando la tabla de la atmósfera estándar se pueden apreciar estas variaciones. Los fabricantes proporcionan las actuaciones o performances de sus aviones referidas a la atmósfera estándar. Basta transformar las condiciones reales de vuelo a condiciones estándar para determinar las actuaciones del avión. Esto tiene especial interés en los vuelos en los aeropuertos situados a gran altura, donde es primordial asegurarse antes del despegue que el avión tendrá suficiente pista para elevarse.

2.2.6. Perfil aerodinámico de un ala

El perfil aerodinámico del ala es la sección obtenida al cortar el ala por un plano paralelo al eje longitudinal del avión. Se le aplican los siguientes términos:

- **Borde de entrada o borde de ataque:** es la parte delantera del perfil del ala. Presenta una pequeña zona de remanso donde la velocidad del aire es cero.
- **Borde de salida:** es la parte posterior del perfil del ala, por donde salen los filetes de aire en contacto con la superficie alar.
- **Alabeo o línea de curvatura media del perfil:** es la línea que equidista de la parte superior (*extradós*) y de la parte inferior (*intradós*) del ala.
- **Envergadura:** es la distancia de punta a punta del ala.
- **Cuerda:** es la línea recta que une el borde de ataque con el borde de salida. Como las cuerdas no son iguales a lo largo del ala, se define como *cuerda media* aquella que multiplicada por la envergadura es igual a la superficie alar. Es importante la línea del 25% de la cuerda que une los puntos situados en el 25% de cada cuerda del perfil alar.

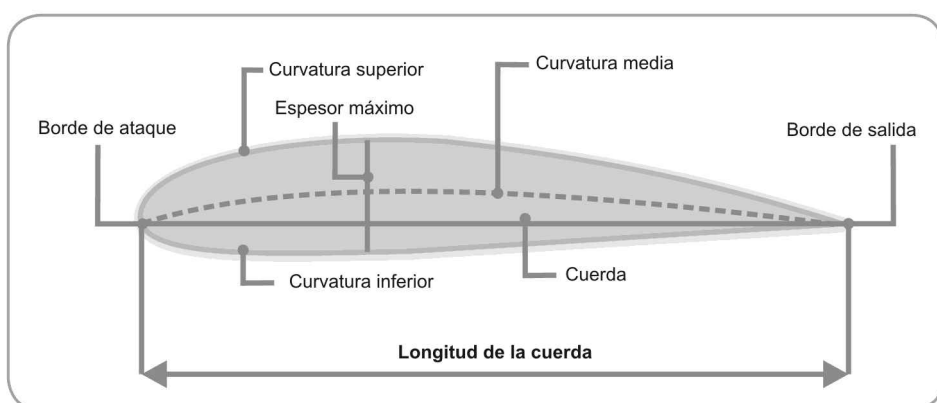


Figura 2.6. *Parámetros del perfil de un ala.*

- **Ángulo de ataque:** es el ángulo que forma la cuerda aerodinámica con la dirección del viento relativo. También se llama *ángulo de ataque inducido*.

- **Alargamiento:** es la relación entre la envergadura y la cuerda media.
- **Flecha:** es el ángulo que forma la línea del 25% de la cuerda con una perpendicular al eje longitudinal del avión. Así, una flecha de 90° indica que el ala es perpendicular al fuselaje.
- **Diedro:** es el valor del ángulo que forma el plano de la cuerda del avión con la horizontal. Existen tres tipos de diedros, positivo, nulo y negativo. El diedro influye en la estabilidad del vuelo del avión. Un diedro positivo favorece la estabilidad.

La resultante de las presiones que se producen en la parte inferior del ala (*intradós*) y la superior (*extradós*) está aplicada en un punto llamado *centro de presiones* del ala o *centro aerodinámico*.

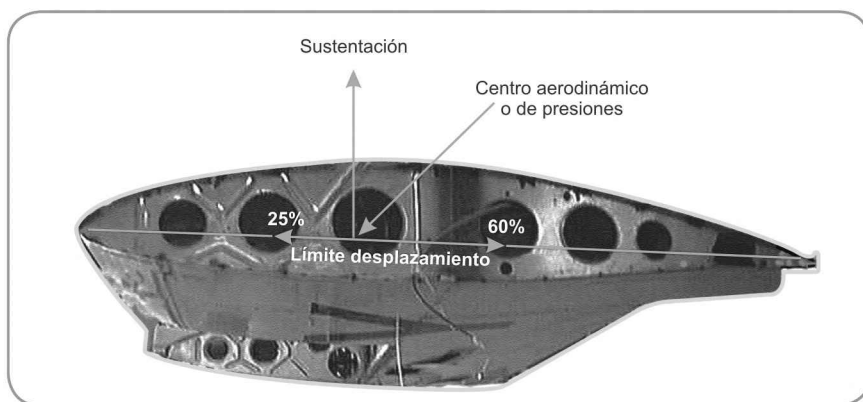


Figura 2.7. Centro de presiones.

El centro aerodinámico se encuentra situado aproximadamente en el 25% de la cuerda, si bien se desplaza durante el vuelo, dependiendo del ángulo de ataque, pudiendo variar entre el 25% y el 60% de la cuerda. La fuerza resultante sobre el perfil del ala queda aplicada en el centro de presiones, es perpendicular a la corriente relativa y se descompone en la *sustentación* y en la llamada *resistencia inducida*.

La *resistencia aerodinámica* se compone de la *resistencia inducida* por el ala debido a la sustentación y de las llamadas *resistencias parásitas* debidas a la resistencia que ofrece el resto del avión (fuselaje, alas, timones, tren de aterrizaje, etc.) en su movimiento a través del aire.

Los perfiles aerodinámicos se diseñan teniendo en cuenta las características de vuelo deseadas en el avión. Se consideran también las diversas perturbaciones que en vuelo pueden afectar la posición de equilibrio. En principio, la respuesta de un ala ante una perturbación es inestable, es decir, ante un aumento del ángulo de ataque, el centro de presiones se mueve hacia adelante, con lo que el ala tiene la tendencia a aumentar

más el ángulo de ataque, y a la inversa, ante una disminución del ángulo de ataque, el centro de presiones va hacia atrás y todavía más el ala disminuye su ángulo de ataque. Gracias a los otros elementos de sustentación (timones) dispuestos en la cola, se consigue la estabilidad en vuelo.

Un ala especial, el ala volante, posee un perfil tal que el centro de presiones no varía para los ángulos de ataque normales en vuelo.

Los perfiles aerodinámicos están codificados por la nomenclatura NACA, creada por el National Advisory Committee for Aeronautics, actualmente NASA. Esta nomenclatura consiste en la palabra NACA seguida de números de cuatro, cinco o seis cifras, que expresan la ley de curvatura y la distribución del perfil del ala. Por ejemplo:

- NACA 2412 – cuatro cifras:
 - 1ª cifra = Ordenada máxima línea de curvatura en % de la cuerda = 2%.
 - 2ª cifra = Distancia de la curvatura máxima al borde de ataque en % de la cuerda = 4%.
 - 3ª y 4ª cifras = Espesor máximo del perfil en % de la cuerda = 12%.
- NACA 23014 – cinco cifras:
 - 1ª cifra = Multiplicada por 0,15 da el coeficiente de sustentación $CL = 2 * 0,15 = 0,3$.
 - 2ª y 3ª cifras = Dividida por 2 da la distancia de la máxima curvatura al borde de ataque en % de la cuerda = $30/2 = 15\%$.
 - 4ª y 5ª cifras = Espesor máximo del perfil en % de la cuerda = 14%.

Otros perfiles tienen 6, 7 y 8 cifras para incluir perfiles de flujo laminar y críticos. Algunos perfiles:

Cessna 172	NACA 2412	Robin DR 500i President	NACA 23013.5
Cessna Citation II	NACA 23014	Piper PA-46 Malibu	NACA 23015
Robin HR 200	NACA 64A515	Piper PA-28 Cherokee	NACA 65-415

2.2.7. Torbellinos de punta del ala

La diferencia de presiones entre el *extradós* (parte superior) y el *intradós* (parte inferior) del ala durante el vuelo tiende a crear unas corrientes de aire (vientos relativos) transversales, de abajo hacia arriba y a lo largo de la envergadura del ala, que se superponen a la corriente longitudinal normal del aire alrededor del ala.

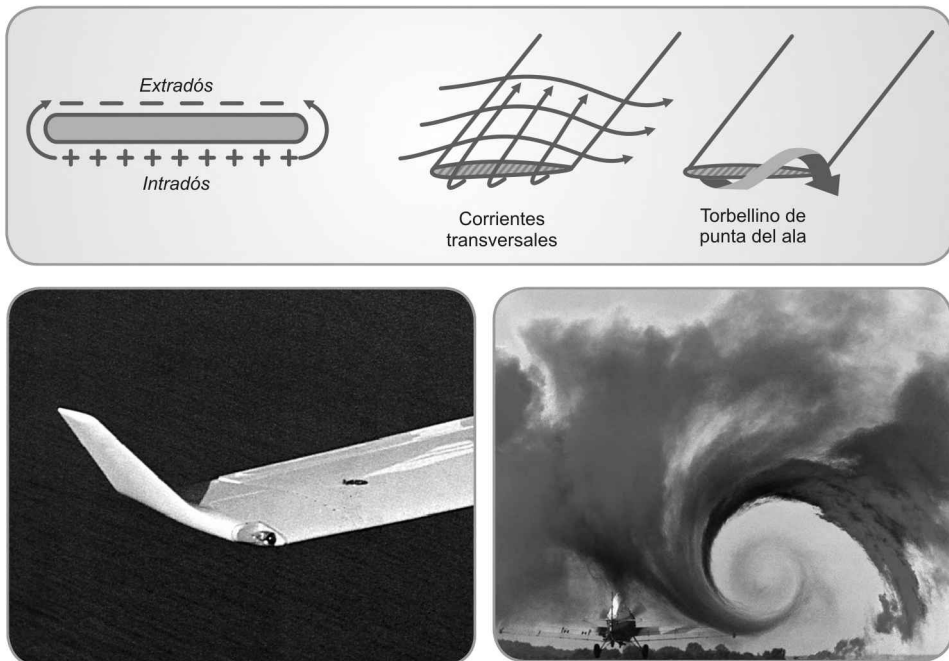


Figura 2.8. Torbellinos de punta del ala + winglets

Estas corrientes transversales dejan de estar soportadas en las puntas del ala. Las condiciones que allí se encuentran son que, por un lado, en el *extradós* existe una menor presión y mayor velocidad del aire que en el *intradós*, donde hay una mayor presión y menor velocidad, y por el otro lado, la corriente lateral en la punta es mucho mayor que la que existe en cualquier punto del borde de ataque del ala. Por lo tanto, se origina una corriente de abajo hacia arriba que al chocar contra la corriente lateral, da lugar a torbellinos, llamados *torbellinos de punta del ala*, que se desplazan hacia atrás enroscándose en sentidos opuestos. Estos torbellinos se hacen visibles cuando el aire va muy cargado de humedad. Los torbellinos provocados por los grandes aviones son extremadamente peligrosos por su violencia y por su duración (varios minutos). Una avioneta que los alcance puede volverse ingobernable en su seno, con el peligro de accidente que ello supone.

Los torbellinos contribuyen a una mayor resistencia del ala en su movimiento a través del aire. Son proporcionales a la sustentación e inversamente proporcionales a la envergadura. Los *winglets* son dispositivos que se colocan en la punta del ala para disminuir esta resistencia.

2.2.8. Dispositivos de freno e hipersustentadores

Los *aerofrenos* (*spoilers*) son ejemplos de dispositivos que aumentan mucho la resistencia. Consisten en una placa que se levanta sobre el ala y que juega el papel de

aerofreno y de control lateral. Son ideales para el caso de un cambio rápido de altura por exigencias del control de vuelos, ya que permiten la bajada con el motor a rpm de crucero, evitando así su enfriamiento. Asimismo, reducen la carrera de aterrizaje al frenar aerodinámicamente el avión.

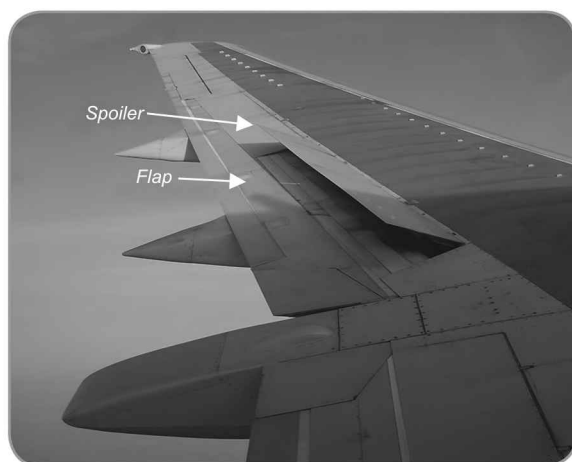


Figura 2.9. Aerofrenos (spoilers).

Los hipersustentadores (*flaps y slats*) son dispositivos que aumentan la sustentación proporcionando más energía a los filetes de aire, con lo cual estos tardan más en abandonar la capa límite y permiten que el avión se sustente a menor velocidad.

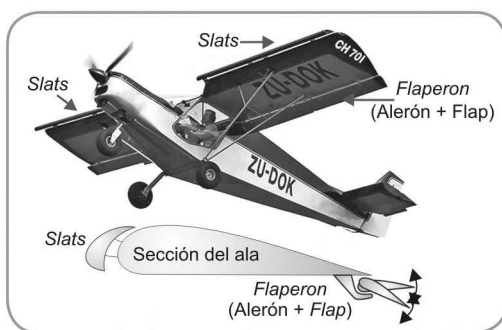


Figura 2.10. Hipersustentadores (flaps y slats).

Otro sistema de hipersustentación son los *generadores de torbellinos (vortex)* en forma de pequeños salientes dispuestos en el *extradós* de las alas, que energizan la capa límite evitando su desprendimiento al aumentar el ángulo de ataque. Los cazas disponen de generadores de torbellinos más grandes, de forma triangular, que parten de la raíz del ala hasta la cabina del piloto, con lo que la sustentación continúa a ángulos de ataque inverosímiles (67° en los ensayos realizados con el avión X29 de la NASA).

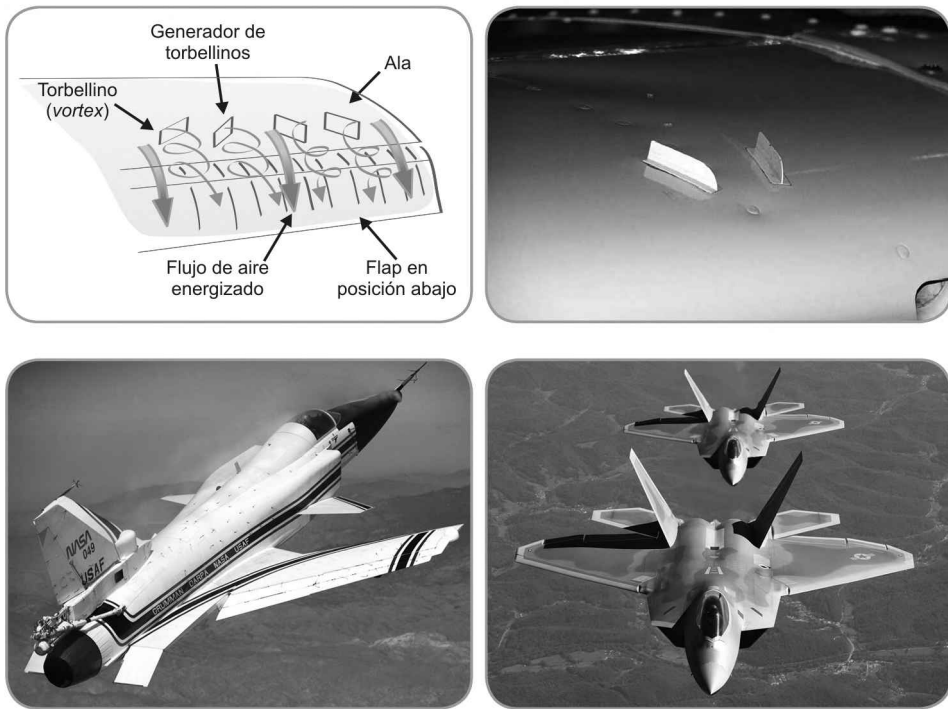


Figura 2.11. *Generadores de torbellinos (vortex).*

Para mejorar la sustentación se usan dispositivos hipersustentadores, de los que en aviación deportiva los más comunes son los *flaps*.

Los *flaps* son partes móviles, y están situados normalmente en la raíz del ala y en el borde de salida, si bien existen algunos en el borde de ataque. Su efecto principal es aumentar el coeficiente de sustentación C_L (disminuyendo la velocidad de pérdida) con un aumento del coeficiente de resistencia C_D . Puestos los flaps en el despegue en un valor mínimo para que la resistencia no sea importante, se retraen completamente una vez alcanzada la altura de seguridad. En el aterrizaje se meten al máximo para aumentar la pendiente del descenso y reducir la carrera de aterrizaje. En el caso de viento con ráfagas es conveniente operar con los flaps retraídos (avión limpio) para tener un mejor control del avión.

El *flap sencillo*, utilizado en aviación ligera, está situado en la prolongación del ala.

El *flap Fowler* es usado en grandes aviones de transporte. Las ranuras que posee permiten pasar el aire del *intradós* al *extradós*, ganando en velocidad y prolongando el inicio del desprendimiento del aire de la capa límite sin aumentar demasiado la resistencia aerodinámica. Al flexionarse puede desplazarse completamente hacia atrás quedando debajo del borde de salida, por lo que produce un gran efecto de sustentación.

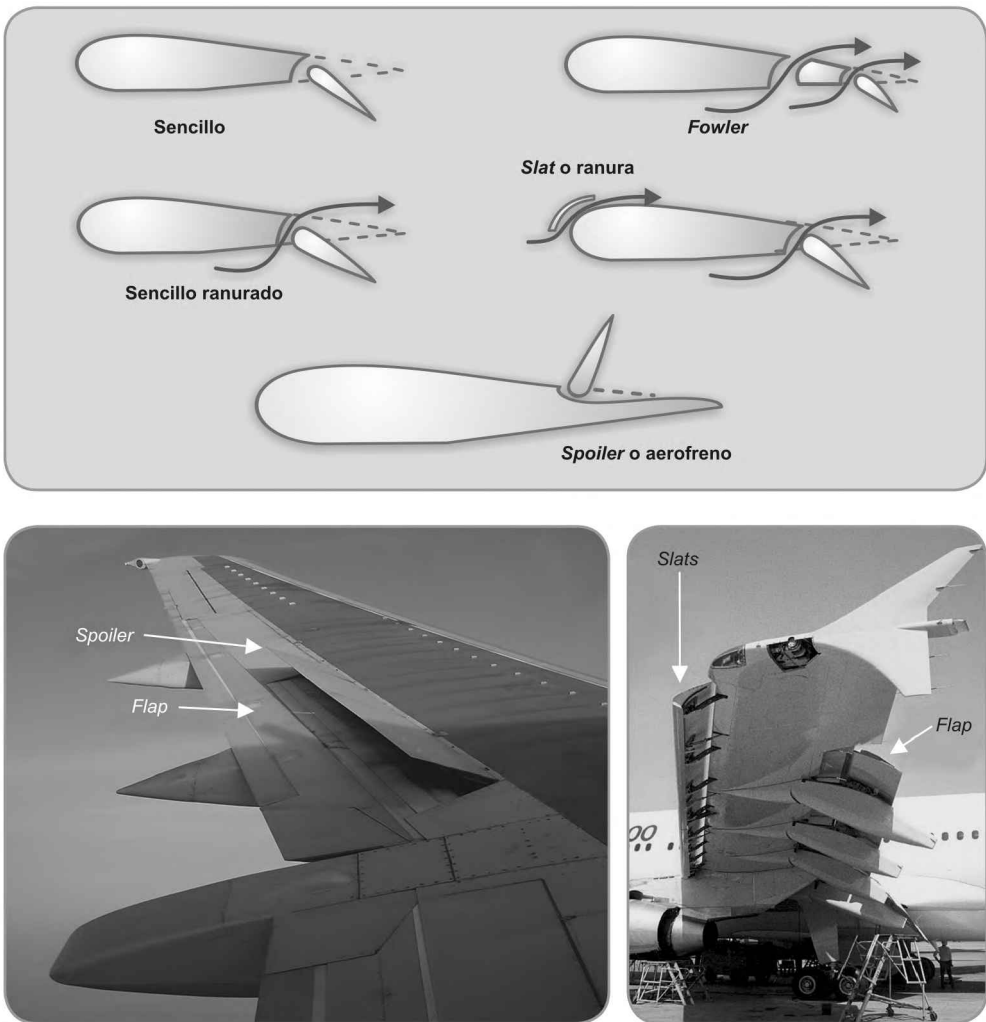


Figura 2.12. Flaps + Spoilers.

Las *aletas hipersustentadoras* o *slats* o *ranuras* disponen de una abertura dispuesta antes del borde de ataque que se abre automáticamente cuando el avión vuela con un gran ángulo de ataque. El aire fluye a gran velocidad incorporándose a la capa límite del *extradós* e impidiendo su desprendimiento prematuro en el borde de salida del ala.

En el caso de aviones de altas prestaciones se utilizan *dispositivos de control de la capa límite* que aspiran el flujo de corriente de aire en el *extradós* del ala en la zona donde se prevé se desprenda la corriente. El panel experimental del avión F-16XL fue perforado con 10 millones de orificios mediante un microscopio láser. De este modo, se consigue que el flujo de aire en el ala sea laminar, evitando turbulencia y

mayor gasto de combustible; se evita que se desprenda la capa límite y que el avión entre en pérdida volando a grandes ángulos de ataque.



Figura 2.13. *Aspiración capa límite. Recubrimiento titanio poroso en ala izquierda.*

3.1. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

3.1.1. Generalidades

El *motor de combustión interna* produce energía mecánica a partir de la energía química producida al quemar un fluido combustible.

En el *motor diesel*, el combustible se inyecta dentro del cilindro y se quema gracias a la elevada temperatura conseguida mediante la alta compresión del aire de la combustión. Estos motores deben resistir las altas presiones dentro del cilindro, con lo cual son pesados, y es rara su aplicación en aviación ligera. Sin embargo, la gran ventaja que presentan, de poco consumo de combustible y menores gastos de operación (un 60% menos), mayor autonomía, fácil mantenimiento y mayor vida útil, bajas emisiones de CO₂, y la fiabilidad y seguridad que proporciona el control digital del motor, han hecho que uno de los fabricantes (Thielert, Lichtenstein – Alemania) los haya certificado en Europa por la JAR-E/CS-E (EN590) y en Estados Unidos por la FAR 33, en octubre de 2003. Otros fabricantes son Dair, DeltaHawk Engines, Eco-Motors Ltd y SMA (EADS – Renault – SNECMA).



Figura 3.1. Avión con motor diesel. Fuente: Diamond-DA40-Thielert.

Debido a estas características empiezan a ser utilizados en escuelas de vuelo y en aviones tales como Piper PA-28, Cessna 172, Diamond DA40 y DA42, Robin DR400 de Apex (antiguamente Robin). Disponen de un único mando del gas sin tirador de mezcla ni de calefacción del carburador, ni bomba de combustible auxiliar, y sin magnetos. Su arranque es fácil y el riesgo de incendio se reduce.

En el motor de gasolina de *cuatro tiempos*, el combustible entra en ignición por la chispa de una bujía. Está dotado de válvulas de admisión y escape que garantizan la integridad de cada fase.

El motor está constituido esencialmente por un *cilindro*, provisto de aletas de refrigeración, dentro del cual se mueve un *émbolo* o *pistón* (dotado de *segmentos* para la estanqueidad) unido por una *biela* al *cigüeñal*, el que está acoplado directamente a la hélice del avión.

La mezcla combustible-aire es preparada por el *carburador* o por un sistema de *inyección* de combustible. El carburador dosifica la cantidad de mezcla mediante una válvula de mariposa que el piloto acciona desde la cabina, por medio de un tirador o una palanca. Al empujarlo a fondo (posición de despegue), la mariposa queda totalmente abierta, con lo que entra una cantidad máxima de mezcla aire-gasolina, y el motor da la máxima potencia.

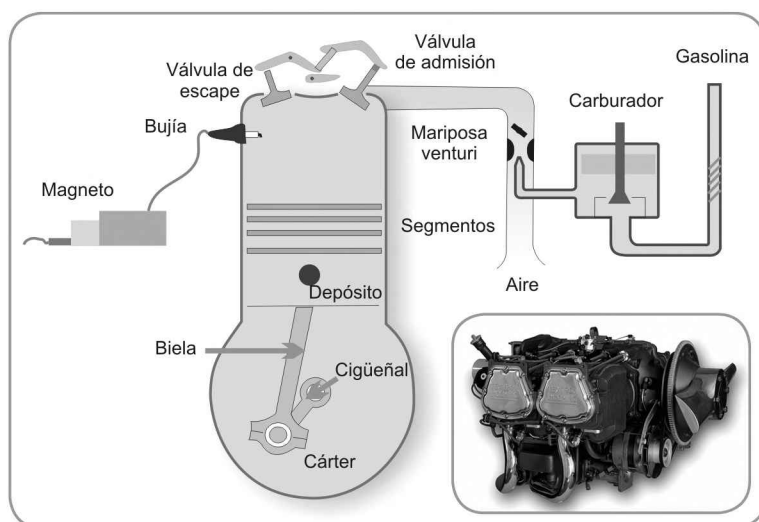


Figura 3.2. Motor de gasolina de cuatro tiempos. Fuente: Lycoming.

El carburante es alimentado desde el depósito de combustible mediante una bomba mecánica y una bomba eléctrica de seguridad. Un dispositivo de mezcla permite al piloto variar la relación combustible/aire. En el despegue, la mezcla está en rica (a fondo), y en altura es necesario empobrecerla ya que entonces disminuye la masa de

aire aspirado y por lo tanto también debe reducirse el combustible, para disponer de la mezcla óptima.

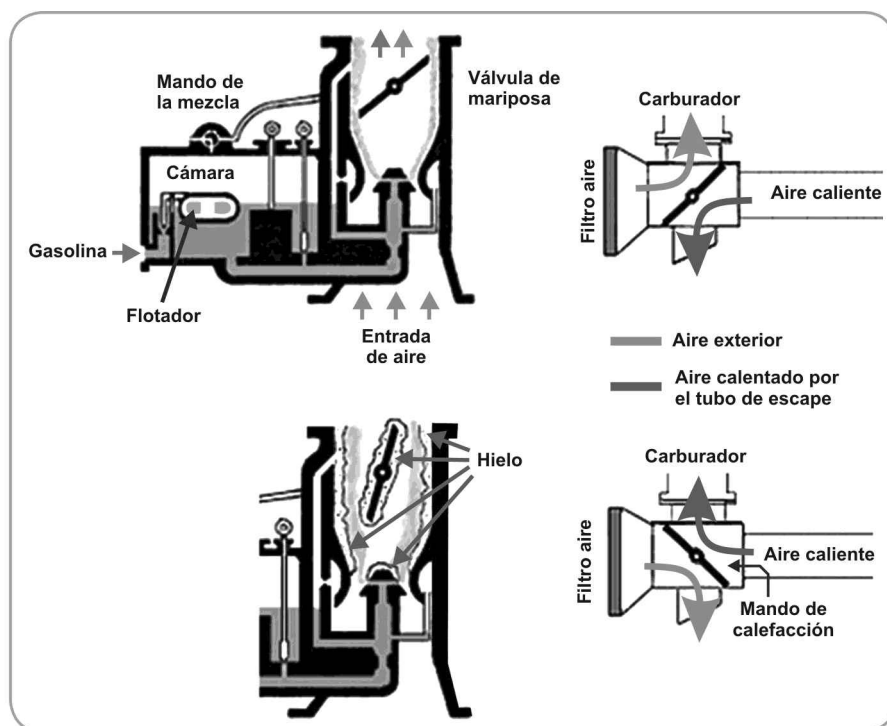


Figura 3.3. Mandos de calefacción del carburador y de la mezcla.

Volando en el seno de aire húmedo, el combustible evaporado en el tubo Venturi del carburador puede absorber las calorías suficientes como para enfriar la mezcla, condensar la humedad del aire y provocar el paso a hielo de la misma, lo que puede obturar gradualmente el carburador, bajar la potencia y dar lugar a la parada del motor. El mando de calefacción del carburador previene este fenómeno haciendo entrar, mediante deflectores, aire caliente procedente de la refrigeración de los cilindros del motor.

Para el encendido se utilizan dos magnetos independientes accionadas por el motor que crean una tensión de unos 15.000 voltios y que excitan cada una, una bujía en cada cilindro. Así pues el motor tiene duplicado el sistema de encendido, lo que da una gran seguridad de funcionamiento.

3.1.2. Ciclo de funcionamiento

Las operaciones a realizar para introducir la mezcla de combustible y aire, quemarla y extraerla de los cilindros son: admisión, compresión, expansión y escape.

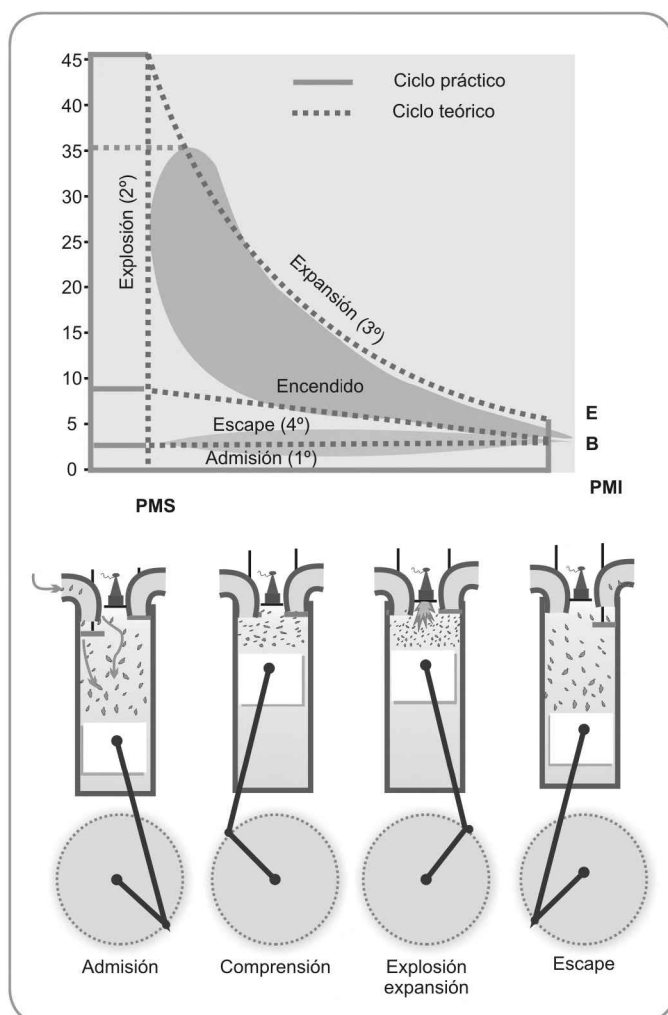


Figura 3.4. Ciclo del funcionamiento del motor de explosión de cuatro tiempos.

1º tiempo: Fase de admisión. El émbolo se mueve desde el *punto muerto superior* (PMS) al *punto muerto inferior* (PMI), la válvula de admisión se abre desde el PMS y la mezcla procedente del carburador entra llenando todo el cilindro a presión atmosférica.

2º tiempo: Fase de compresión. La válvula de admisión se cierra cuando el émbolo llega al PMI, el émbolo sube y comprime la mezcla, con lo que aumenta su temperatura (hasta los 250-380 °C), pero sin provocar el encendido. En el PMS salta la chispa en la bujía y la mezcla entra en ignición, llegando la temperatura hasta los 2.000-2.200 °C. La presión pasa desde unos 10 bar a los 45 bar.

3º tiempo: Fase de expansión. Los gases quemados aumentan la presión sobre el émbolo, éste desciende rápidamente. Es la única fase útil de las cuatro del motor. La temperatura aumenta hasta los 1.000-1.300 °C.

4º tiempo: Fase de escape. La válvula de escape se abre cuando el émbolo llega al PMI, mientras el cilindro va subiendo hasta el PMS y se expulsan los gases quemados, disminuyendo la presión desde los 4 bar a la atmosférica.

Los motores de explosión en aviación suelen ser de cuatro cilindros con un volante en el cigüeñal para regularizar el régimen del motor. Cabe señalar que los motores de seis cilindros tienen un funcionamiento muy suave y regular.

3.1.3. Sistema de refrigeración

El motor debe refrigerarse para eliminar el calor cedido por el combustible y no utilizado por el motor. Se aprovecha entre el 25% y el 30% del calor del combustible para dar potencia útil. Del 5% al 10% se pierde por el aceite que actúa como refrigerante y entre el 40% y el 50% se pierde por el tubo de escape. El sistema de refrigeración del motor debe eliminar del 15% al 20% restante. Se utilizan dos sistemas:

- Motores enfriados con líquido que utilizan un líquido refrigerante que es enfriado en un radiador, refrigerado a su vez por el aire de la marcha. Son utilizados en motores de poca potencia, en ultraligeros y poco en aviación general y deportiva.
- Motores enfriados con aire, que es el sistema más utilizado. Se usa en motores radiales y en motores de cilindros opuestos, con los cilindros dotados de aletas de refrigeración y deflectores para ofrecer al flujo de aire una gran superficie que garantice la uniformidad de las temperaturas en todos los puntos del motor. Algunos motores disponen de un indicador de temperatura colocado en la cabeza de culata del cilindro más caliente, lo que permite al piloto conocer el grado de refrigeración del motor.



Figura 3.5. Cilindros con aletas de refrigeración. Fuente: Lycoming.

En el vuelo en altura, el control de mezcla aire/combustible influye en la temperatura del motor. Una mezcla pobre aumentará la temperatura en los cilindros, mientras que una mezcla rica la bajará. De hecho, en el ascenso, donde interesa una alta potencia, la mezcla se ajusta en rica para refrigerar el motor, excepto en días especiales o en aeropuertos elevados, cuando se precisa de un ajuste especial para que el motor funcione correctamente. En los manuales se especifican las precauciones a tomar cuando se vuela el avión adoptando un régimen de máximo ángulo de subida, o bien cuando se desea alcanzar la mayor altura en el mínimo tiempo.

3.1.4. Sistema de lubricación

El motor de explosión precisa de un aceite lubricante para proteger las superficies deslizantes, contribuir al enfriamiento del motor y reducir su desgaste, mejorando el rendimiento mecánico.

En el motor de cárter seco la lubricación es forzada mediante bombas. El aceite es aspirado de un depósito y es impulsado por una red de tuberías a los puntos a lubricar. El aceite sobrante cae al cárter, donde una bomba de lubricación lo envía a un radiador de aceite, para regresar de nuevo al depósito.

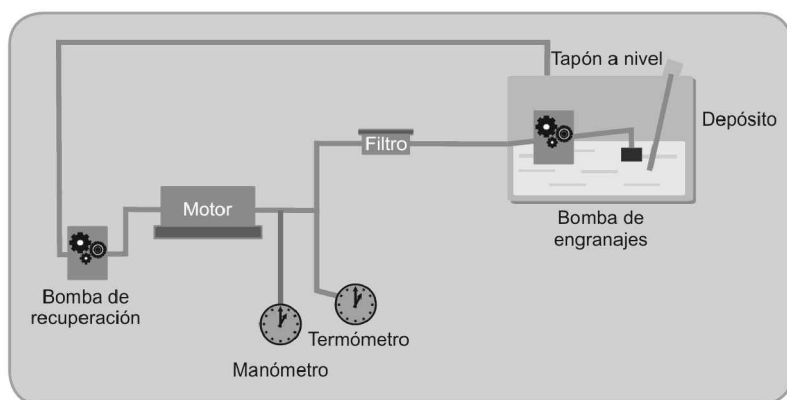


Figura 3.6. Sistema típico de lubricación.

Existen dos tipos de aceites lubricantes. El aceite mineral puro destinado al motor durante las primeras 50 horas de funcionamiento y cuyo objeto es rodarlo limando las asperezas y rugosidades de las piezas en rozamiento, y el normal detergente adecuado para el resto de su vida útil. Antes de cada vuelo debe comprobarse el nivel de aceite y su estado, extrayendo el tapón-varilla de aceite, debiendo dejarlo perfectamente cerrado enroscando a mano con la fuerza adecuada, sin exagerar.

El piloto conoce el estado del aceite de lubricación por el manómetro y el termómetro instalados en el panel. Una lectura baja del manómetro indica un posible nivel mínimo de aceite, problemas en la bomba, rotura de las tuberías y cualquier tipo de

fallo que comporte una reducción de presión. El termómetro señala si el aceite ha alcanzado la temperatura suficiente para el despegue. Una temperatura elevada que se presente durante el vuelo indica un calentamiento excesivo, lo que trae consigo una disminución de la viscosidad y por lo tanto de las cualidades de lubricación del aceite.

Al poner en marcha el motor, la presión de aceite debe subir como mínimo al valor indicado en el manual del avión. Si el valor es menor, el motor debe pararse y averiguar la causa.

3.1.5. Combustible

La gasolina de aviación tiene como característica principal el octanaje, es decir, el poder antidetonante de un carburante en relación con una mezcla de hidrocarburos tomada como unidad de base. La gasolina más común tiene el octanaje 100LL (color azul). Otras clases son 80/87 octano (color rojo), 100/130 octano (color azul) y 115/145 octano (color púrpura).





Combustible	Color del combustible	Color del equipo
AVGAS 80	ROJO	
AVGAS 100	VERDE	
AVGAS 100LL	AZUL	
JET A	SIN COLOR O PAJIZO	

Figura 3.7. Colores de los combustibles para aviación.

Los motores de turbina consumen queroseno, que es incoloro o amarillo pálido (pajizo).

3.1.6. Control de la salida de potencia. La hélice

La potencia entregada por el motor depende de la presión en el colector de admisión (múltiple), de las rpm de la hélice, del número de palas de la misma y de la riqueza de la mezcla.

La presión en el colector de admisión viene dada por la posición de la palanca de gases que fija la abertura de la válvula de mariposa en el carburador. El mando de mezcla, que es de color rojo para llamar la atención del piloto, fija la proporción aire/combustible.

En un avión con *hélice de paso fijo*, la presión en el colector de admisión varía las rpm de la hélice, con lo que *el tacómetro* indica la potencia desarrollada. La hélice de paso fijo es utilizada en la mayoría de los aviones de pequeña velocidad de crucero (hasta 250 km/h).

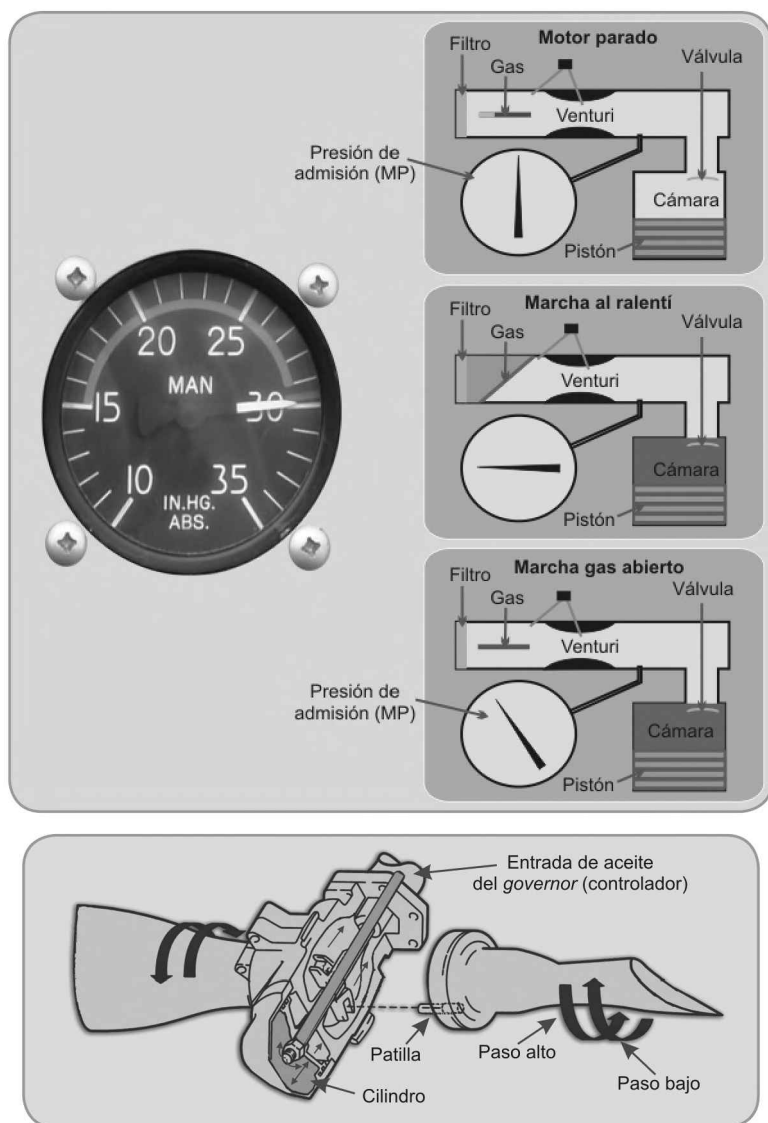


Figura 3.8. Manómetro indicador de la presión de admisión (manifold - MP) y control del paso (governor).

En aviones con *hélice de paso variable*, una vez seleccionado en vuelo el paso por el piloto, las rpm varían según la potencia del motor y la velocidad del avión. El *tacómetro* indica las rpm de la hélice, mientras que el *indicador de presión de admisión* o *manifold* mide la presión de la mezcla aire-gasolina que va a los cilindros. Se le llama también *múltiple de admisión* o *MAP (Manifold Absolute Pressure)* o bien *MP*. Está formado por dos fuelles, uno en el que se ha hecho el vacío y el otro que está conectado a la tubería de admisión entre el carburador y el motor.

La presión indicada por el manifold depende de la posición del controlador de la hélice y la máxima de trabajo, que es de 28 a 29 pulgadas.

En el despegue y a bajas velocidades (despegue) del avión, interesa que la potencia y las rpm sean las máximas, y así la hélice choca contra el aire en un ángulo de ataque muy pequeño (paso corto – *pitch* = 100%), mientras que a velocidad de crucero las rpm son menores y el ángulo de ataque de las palas de la hélice debe ser mayor (paso largo – *pitch* = 10%), para tomar un mayor volumen de aire. Los valores de la presión de admisión para unas determinadas rpm del motor vienen dados en el manual del avión. Se utiliza en los aviones con gran diferencia de velocidades (100 a 500 km/h).

Los procedimientos a seguir para evitar una alta presión de admisión con unas bajas rpm, que podrían ocasionar la rotura del motor, son los siguientes:

Para aumentar la potencia se aumentan primero las rpm (tacómetro) con el mando de la hélice (se reduce el paso) y después la presión de admisión (manifold) con el tirador del gas (se empuja para aumentar el volumen de la mezcla de admisión).

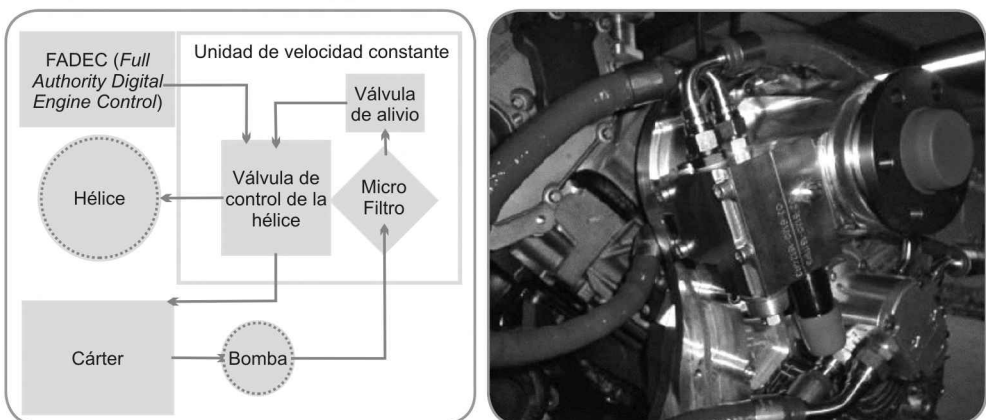


Figura 3.9. Hélice de velocidad constante. Fuente FAA.

Para reducir la potencia se reduce primero la presión de admisión (manifold) con el tirador del gas (se tira de él para disminuir el volumen de la mezcla de admi-

sión) y se disminuyen después las rpm (tacómetro) con el mando de la hélice (se aumenta el paso).

En las hélices de velocidad constante, el paso se regula automáticamente para mantener las rpm seleccionadas por el piloto, independientemente de la potencia que se exija al motor (ascenso, crucero o descenso). El regulador del paso de la hélice (governor) es accionado por el motor mediante un mecanismo de fuerza centrífuga (contrapeso dinámico de la hélice), de modo que un aumento o disminución de las rpm comportan que el regulador gire más lento o más rápido para llevar las rpm a las seleccionadas por el piloto. En otras palabras, el piloto fija unas determinadas rpm y el regulador de paso (governor) se encarga de mantener el ángulo de las palas para conseguir las rpm deseadas.

En la Figura 3.10 puede verse el aspecto de un panel de control de la avioneta Rally Minerva 220, donde se ven los mandos del gas, el paso de la hélice y la mezcla gasolina-aire.



Figura 3.10. Panel de control de la avioneta Rally Minerva 220.

Las secciones de las palas de la hélice son perfiles de ala que inciden en el aire con ángulos de ataque variables, que disminuyen desde el centro o cubo a la periferia. Esto es natural porque el recorrido de estos puntos extremos es mayor y también lo es su velocidad con relación al aire, lo que limita el ángulo de ataque para que la sección de la hélice correspondiente no entre en pérdida. Las puntas de las palas también tienen limitada la velocidad. Esta no puede sobrepasar la del sonido. El rendimiento de una hélice es del orden de 0,85 a 0,90.

El cálculo de una hélice es complicado. Intervienen el paso (medido en un punto situado en el 75%, desde el cubo a la punta de la hélice), la velocidad, el ángulo de paso, el ángulo de ataque, el avance y el deslizamiento.

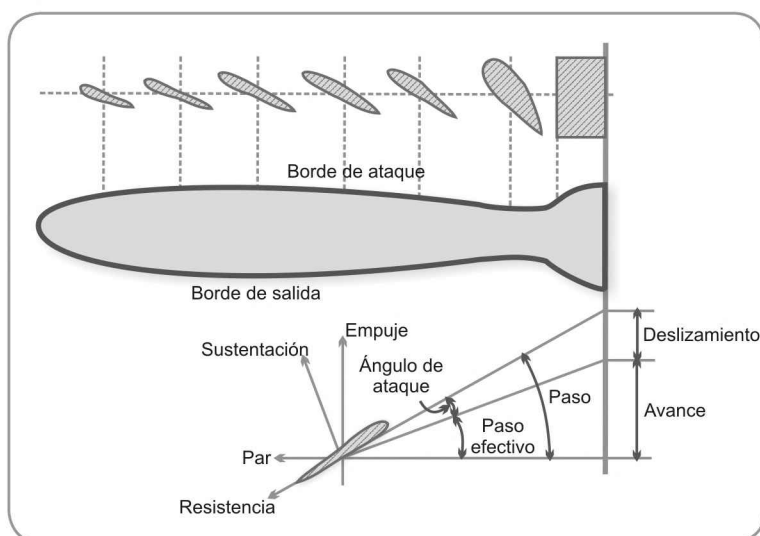


Figura 3.11. Hélice.

La nomenclatura de la hélice utilizada en el avión acrobático Robin R2160 es SEN-SENICH 74 D M 6S5 2-64, cuyo significado es:

- 74 = Diámetro en pulgadas.
- D = Referencia del constructor relativa a la pala.
- M6S5 = Tipo de montaje.
- 2 = Tolerancia máxima en pulgadas del diámetro.
- 64 = Paso en pulgadas en el ángulo de paso de referencia.

En aviones multimotores, en caso de fallo de un motor, la hélice correspondiente es puesta en un paso largo (pitch = 0%), es decir, con un gran ángulo de ataque con las palas perpendiculares al sentido de giro de la hélice, para reducir la resistencia aerodinámica y evitar el efecto parásito de gasto de energía al hacer girar la hélice. Se dice que está en bandera (*feather propeller*).

3.1.7. Potencia del motor

La *cilindrada* es el volumen del cilindro comprendido entre los dos puntos muertos superior e inferior, y es igual al producto de la sección del cilindro multiplicada por la carrera. La cilindrada total es la suma de volúmenes de todos los cilindros.

La *relación de compresión* es la relación entre el volumen total del cilindro cuando el émbolo se encuentra en el punto muerto inferior (PMI) y el existente cuando el émbolo está en el punto muerto superior (PMS).

El *rendimiento* del motor es la relación entre la potencia mecánica entregada por el eje y la energía calorífica total que el combustible libera durante la combustión.

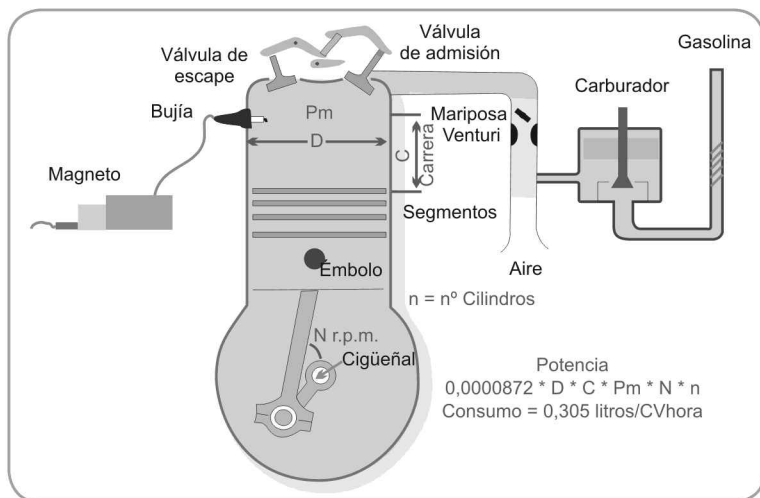


Figura 3.12. Potencia del motor.

La potencia del motor de explosión es el trabajo efectuado por unidad de tiempo, expresándose en caballos de vapor (CV) equivalente a 75 Kgm/seg. y a 736 watios. La potencia desarrollada por el motor girando a N revoluciones por minuto con n cilindros y un rendimiento mecánico η , es de:

$$W \text{ (CV)} = 0,0000872 * D^2 * C * P_m * N * n * \eta$$

Siendo:

D = diámetro del émbolo

C = carrera

Pm = presión media

El consumo de un motor de explosión típico oscila entre 240 – 300 gr/kW x hora = 177 – 220 gr/CV x hora. La densidad de la gasolina de aviación es de 0,72 – 0,76 kg/litro. Para un motor de 118 CV, el consumo en el despegue (100% de la potencia) es:

$$\frac{118 \text{ CV} \times 0,220 \text{ kg / CV hora}}{0,72 \text{ kg / litro}} = 36 \text{ litros / hora al 100\% de la potencia}$$

Al 75% de la potencia, es 36 litros/hora x 0,75 = 27 litros/hora.

Al 65% de la potencia, es 36 litros/hora x 0,65 = 23,4 litros/hora.

Consumo combustible = 220 gramos/CV hora = 0,305 litros/CV hora.

Los datos expuestos quedan confirmados por el fabricante del motor Lycoming O-235 L2A de 118 CV, que indica un consumo de 9,7 galones/hora = 36,7 litros/hora al 100% de la potencia.

La potencia equivalente en SI (watt) es: $W \text{ (watt)} = 0,0641792 * D^2 * C * P_m * N * n * \eta$.

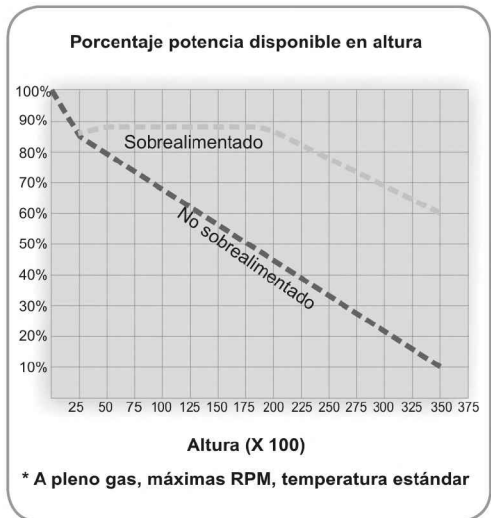
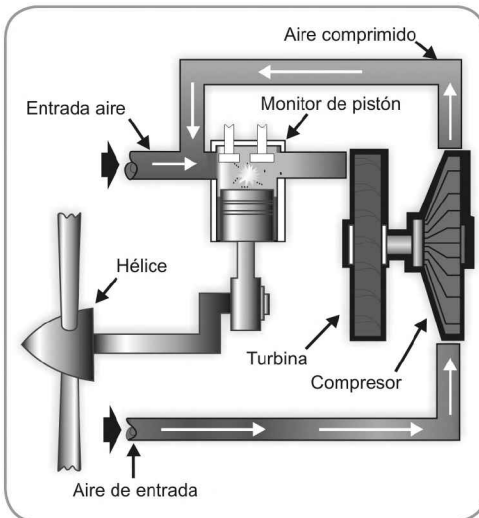
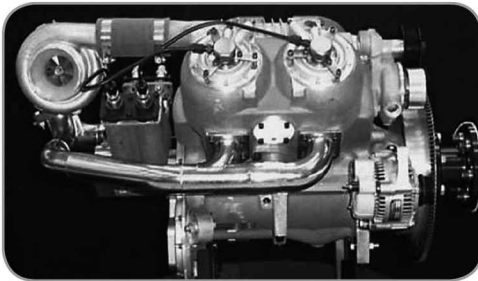


Figura 3.13. Motores sobrealimentados.

La potencia que desarrolla el motor se reduce a medida que el avión gana altura, debido a la menor densidad del aire, de modo que el piloto debe dar más gas para conservar la tasa de ascenso, hasta que llega un momento en que el gas está a tope

y ya no puede subir más. La solución para tener potencia en estas condiciones es dotar al motor de un compresor de aire que inyecte el mismo a mayor presión que la atmosférica para ganar potencia como si estuviera a nivel del mar. El compresor es radial y está accionado por una turbina que aprovecha los gases de escape del motor.

Existen disposiciones típicas de los cilindros: en línea, en V, radiales y horizontales opuestos. En aviación deportiva los mas típicos son los horizontales opuestos.

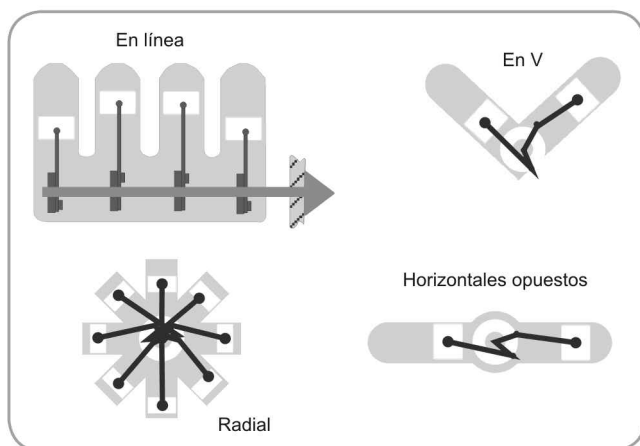


Figura 3.14. Disposiciones típicas de cilindros.

3.2. TURBINA DE GAS

La *turbina de gas* típica consiste en un compresor rotativo, unas cámaras de combustión, la turbina y las toberas de escape. El compresor rotativo está acoplado al árbol de la turbina y gira aprovechando parte de la energía producida por el motor. Comprime el aire aspirado del exterior, y lo envía a una o varias cámaras de combustión, donde se inyecta el combustible y se enciende la mezcla, con el resultado de que los gases producto de la combustión salen por la tobera posterior a gran velocidad, impulsando el avión hacia adelante, por el principio de acción y reacción. Por este motivo el motor de turbina de gas se denomina también *jet* o *motor de reacción*.

La turbina de gas se inició prácticamente en 1940 y estaba basada en el uso de un compresor centrífugo para aspirar el aire. Este tipo de turbina estaba limitado por el tamaño del compresor. La turbina de gas axial sustituyó el compresor centrífugo por un *compresor axial* de múltiples etapas, siendo probada por vez primera el 18 de abril de 1942.

El motor de *turbohélice*, creado en 1945, es un motor de turbina axial, con la hélice accionada, a través de una caja de engranajes reductora, por una segunda turbina que es independiente de la turbina de accionamiento del compresor axial.

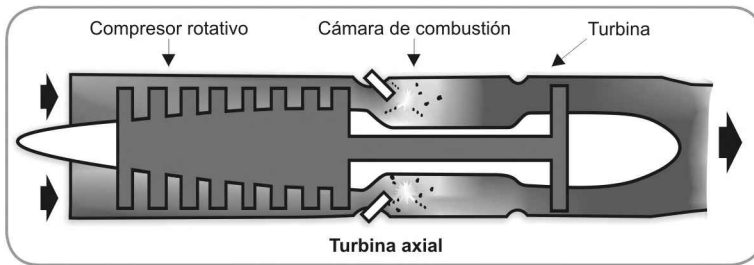


Figura 3.15. Turbinas de gas axial/Turbohélice.

El motor de turbina con *postcombustión* dispone de una segunda cámara, que es una prolongación de la cámara de combustión, en la que se inyecta combustible adicional.

Un modelo derivado de la turbina de gas es el *turboventilador (turbofan)*, o turbina de doble flujo, que extiende las palas de la turbina fuera de la caja interior del motor, aspirando así aire del exterior, y aumentando ligeramente la presión de los gases de salida pero dando un gran caudal, al actuar como si fuera una hélice propulsora. Proporciona un aumento del empuje de un 40%, disminuye el consumo de combustible en un 15% y, lo que es actualmente muy importante, reduce el ruido del motor en el despegue y en el aterrizaje. Parte del aire aspirado por el ventilador es introducido en el compresor, siendo el resto enviado hacia atrás a gran velocidad, según una relación determinada (*bypass* de 6:1 a 8:1).

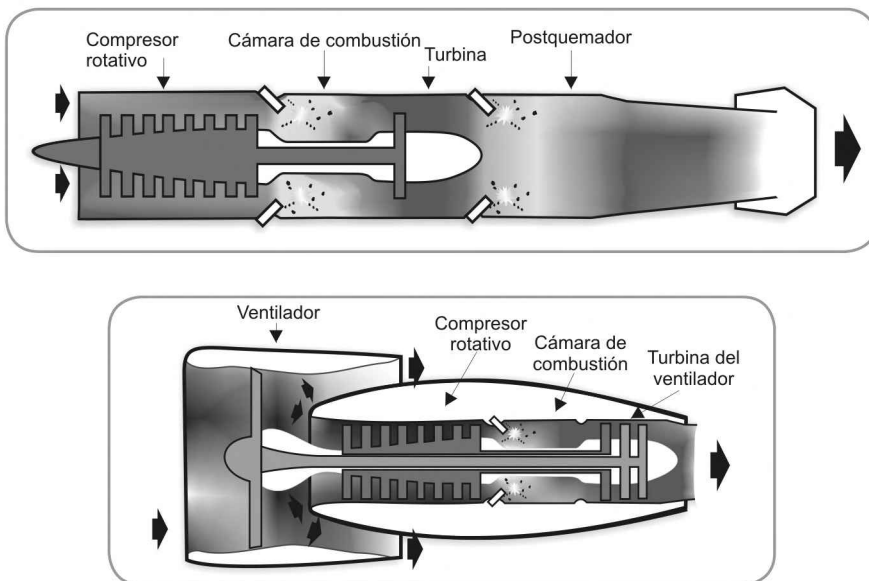


Figura 3.16. Motor de turbina con *postcombustión*/turboventilador.

El empuje proporcionado por el motor se deduce igualando la cantidad de movimiento de la masa M de gases quemados que sale a la velocidad v con el tiempo t que dura el empuje F .

Si $P = 60 \text{ kg/seg}$ y $v = 500 \text{ m/seg}$ resulta $F = 3.060 \text{ kg}$

$$F \cdot t = M \cdot v \quad F = \frac{M}{t} \cdot v = \frac{P}{g \cdot t} \cdot v$$

Las potencias de los motores de reacción se expresan en empuje en libras o $\text{kg} \cdot \text{En}$ los aviones comerciales abarcan desde las 5.000 libras (2.260 kg) hasta las 58.000 libras (26.308 kg) de empuje. Existen pequeños motores de reacción de empuje 15 Kgs y que pesan 7,9 kg, que se han usado en la propulsión de aviones sin piloto o en pequeños aviones de una plaza.

El CMI, unión de la Universidad de Cambridge y el MIT (Massachussets Institute of Technology), presentó el 6 de noviembre de 2006 el proyecto de un avión “silencioso” de escasa contaminación acústica. Integra los motores en el fuselaje, dobla el área de salida de los gases de combustión para que con el mismo empuje la velocidad de salida sea menor, disminuye la velocidad de aproximación al aeropuerto mediante cambios en el perfil aerodinámico del avión y elimina los flaps.

En el proyecto participan Boeing, DHL, EasyJet, Lufthansa, Rolls Royce y la NASA.

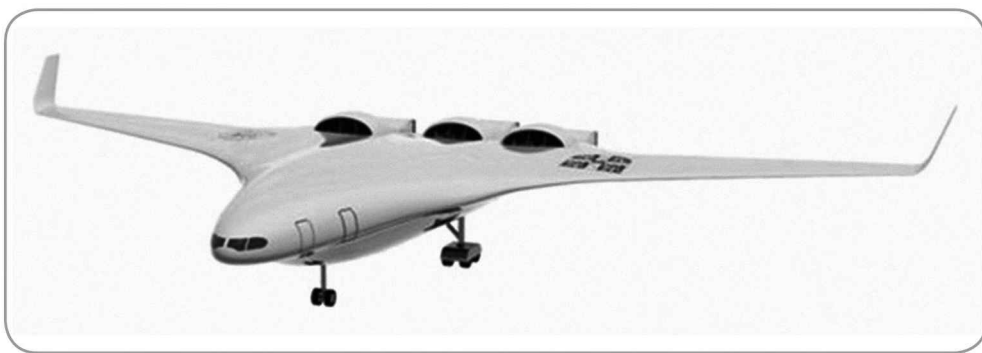


Figura 3.17. *Avión silencioso.*

3.3. AVIÓN CON MOTOR COHETE

Dispone de un motor cohete con un empuje de 1.500 – 2.500 lb (680 – 1.134 kg), siendo el combustible oxígeno líquido y queroseno o etanol. Con un motor de doble empuje podrá alcanzar una altitud de 38 millas (61 km), suficiente para hacer un minivaje espacial.



Figura 3.18. *Avión con motor cohete.*

3.4. MOCHILA INDIVIDUAL DE CHORRO DE AIRE (JETPACK)

Consiste en una mochila llevada por el piloto con un motor de gasolina que acciona un rotor que genera chorros de aire. El depósito de combustible contiene 19 l y consume 38 l/h, lo que le da una autonomía de unos 58 km. En vuelo estacionario alcanza unos 2.440 m.



Figura 3.19. *Mochila individual con motor de chorro de aire. Fuente: Martin JetPack.*

Aparte de tener unos factores de seguridad del motor y de los rotores de 5 a 10, dispone de un paracaídas balístico similar al de los ultraligeros.

3.5. AVIÓN CON MOTOR ELÉCTRICO ALIMENTADO CON BATERÍAS

Avión de una plaza en experimentación dotado de un motor eléctrico de 18 CV con una velocidad de crucero de 70 nudos (130 km/h) y autonomía de 1 a 1,5 horas.



Figura 3.20. *Avión con motor eléctrico. Fuente: Electraflyer y Sonex.*

Las baterías son de litio polímero con una vida útil de 1.000 ciclos, de 5,6 kWh y pueden cargarse en 2 horas a 220 V ca.

3.6. AVIÓN CON MOTOR ELÉCTRICO ALIMENTADO CON PILAS DE HIDRÓGENO

Es un avión experimental alimentado por pilas de combustible de hidrógeno que voló por primera vez en febrero de 2008 en Ocaña (Toledo), operado por la compañía SENASA y patrocinado por Boeing Research & Technology Europe (BR&TE) de Madrid, con socios en Austria, Francia, Alemania, España, el Reino Unido y Estados Unidos.



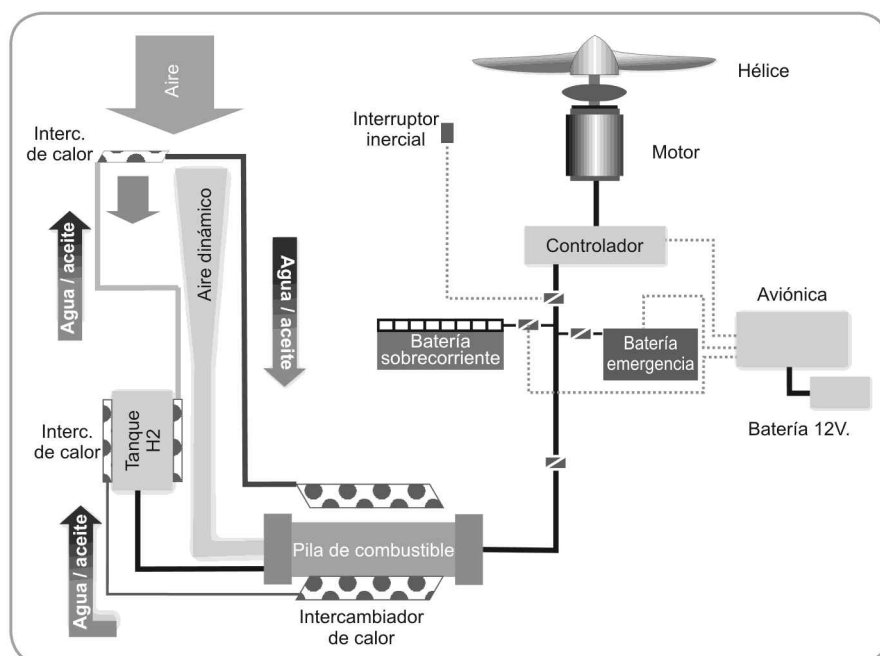


Figura 3.21. *Avión con motor eléctrico alimentado con pila de combustible. Fuente: Boeing + Advanced Technology Products, Inc.*

El avión es un planeador a motor de dos plazas Dimona de Diamond Aircraft Industries, de 16,3 metros de envergadura, que fue modificado para incorporar un sistema híbrido de batería de litio y célula de combustible de membrana de intercambio de protones (*Proton Exchange Membrane, PEM*) que alimenta un motor eléctrico acoplado a la hélice.

En los vuelos de prueba se utilizó en el ascenso una combinación de las baterías y de la célula de combustible de hidrógeno y en crucero a 1.000 metros de altura y 100 km/h, exclusivamente la célula de hidrógeno, durante unos 20 minutos.

Estructura de la aeronave

4

La aeronave se compone del fuselaje, de las alas y del empenaje, y el conjunto recibe el nombre de célula.

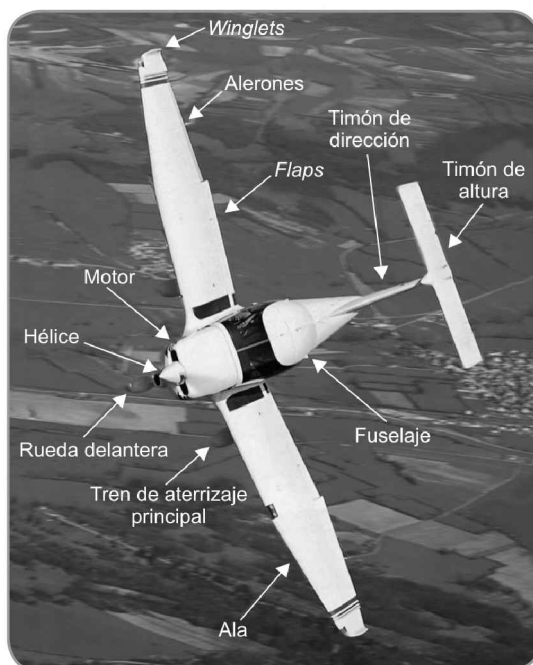


Figura 4.1. Estructura de la aeronave.

4.1. TIPOS DE FUSELAJE

El fuselaje es el cuerpo principal del avión y está destinado a albergar a los pilotos, pasajeros y la carga. Tiene una forma longitudinal ahusada con sección circular o elíptica, estando unido al ala, a la que sostiene.

El fuselaje se puede construir con enrejado de maderas (celosía), pero la construcción más usual es la de monocasco, con elementos internos (riostras, costillas, larguerillos y cuadernas) unidos por tirantes y cubiertos con chapa de revestimiento.

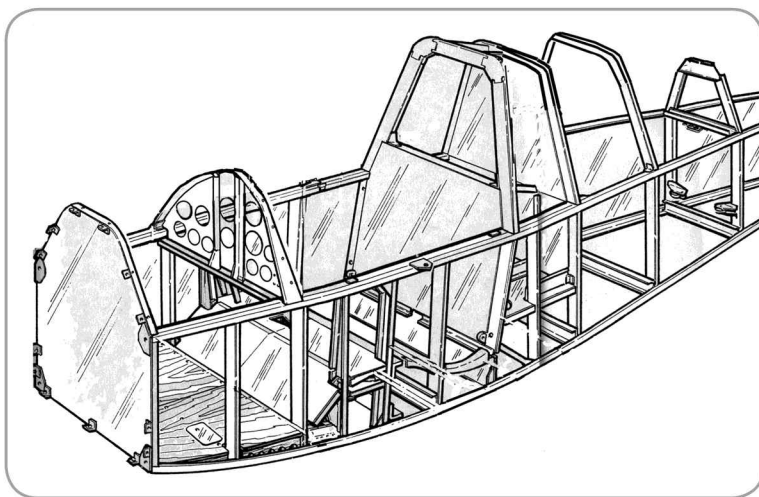


Figura 4.2. *Fuselaje semimonocasco.*

El compartimiento del motor, llamado morro o nariz, contiene el motor y los mandos y conductos que comunican con los instrumentos del panel. Para separar el motor de la cabina existe una mampara cortafuegos que aísla al piloto de un posible incendio y reduce el ruido en cabina.

4.2. ESTRUCTURA DEL ALA

La estructura del ala puede adoptar las formas siguientes:

En *voladizo* unida directamente al fuselaje, mediante un encastre, presentando una línea limpia sin refuerzos exteriores. El perfil alar viene determinado por las costillas fabricadas con materiales ligeros (aluminio y duraluminio) y perforadas para ahorrar peso. Las costillas están unidas mediante largueros y larguerillos, formando un cajón dentro del ala y cubierto todo el conjunto por un revestimiento resistente. Los largueros están proyectados para soportar el peso del avión, de los pasajeros y del combustible, y las cargas verticales que el avión recibe durante el vuelo por las ascendencias y descendencias y las condiciones de turbulencia. El cajón sirve para alojar los depósitos de combustible, y conjuntamente con el revestimiento soporta los esfuerzos de torsión y las cargas horizontales.

Tornapuntada con refuerzos exteriores. Es típico del ala alta que tiene refuerzos (varillas) que unen la parte inferior del fuselaje con el extremo del ala. Los biplanos tienen además tirantes que ligan el fuselaje con las alas.

Los depósitos de combustible pueden formar parte integrante de la estructura alar y prácticamente se construyen impermeabilizando una zona interna del ala entre varias costillas y largueros, o bien pueden montarse dentro de la propia estructura del ala, en cuyo caso son depósitos independientes alojados internamente en forma de cajones.

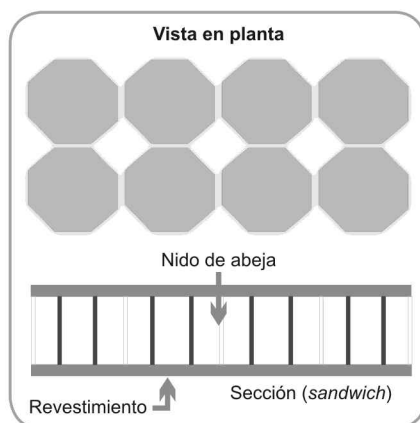


Figura 4.3. Ala clásica / con cajones / estructura de nido de abeja.

Algunas partes de la estructura son fabricadas en materiales llamados *sandwich* unidos por hojas y formando un *nido de abejas* muy ligero y resistente a la compresión. Constituyen el material de elección en piezas tales como los bordes de ataque del ala.

Los materiales utilizados en general son: madera, aleaciones de aluminio, titanio y acero, materiales compuestos de fibra de vidrio y de fibra de carbono reforzados con plástico. Los composites y nuevas aleaciones metálicas han ganado presencia en los aviones, por ser materiales ligeros, resistentes y aptos para soportar el ambiente hostil de la aviación. Como detalle, los composites, que suponían el 10% del material total del Airbus A-320, aportan el 25% del A-380 y llegan al 37% en el modelo siguiente, el A-350, con el fuselaje y los extremos del ala realizados principalmente con materiales plásticos reforzados con fibra de carbono. Entre los nuevos materiales incorporados a los modelos más avanzados de aviones destacan las resinas, las fibras de carbono, los tecnoplásticos y los materiales sintéticos, además de los elementos metálicos.

La tendencia actual, en particular en kits de ultraligeros, es fabricar piezas grandes (fuselaje, alas) en composite con PVC de alta densidad y resina epoxy que se laminan en un molde y se endurecen en un horno con la temperatura y la humedad controladas. De este modo, la forma y peso de las alas y el fuselaje son controlados en fábrica, con lo que se consiguen prestaciones importantes del avión. Por ejemplo, el avión Esqual en fibra de vidrio o fibra de carbono con un motor de 85 HP tiene una velocidad de crucero de 230 km/h y consume 16 l/h al 75% de la potencia.



Figura 4.4. Componentes de un ultraligero. Fuente: *Esqual. Moià (Barcelona, España)*.

4.3. EMPENAJE O COLA

El empenaje tiene una estructura idéntica a la del ala. Soporta los estabilizadores o timones. Cabe mencionar que el timón vertical está desviado del eje longitudinal del avión para que en el vuelo de crucero el viento relativo resultante del chorro de la hélice y del flujo de aire de la marcha, incida sin ninguna reacción del estabilizador. El *timón de altura* consiste en un plano móvil que sube o baja al ser accionado por el piloto, al tirar hacia atrás o hacia adelante la palanca o el volante, de tal manera que, al subir, disminuye la sustentación de la cola, con lo que aumenta el ángulo de ataque del ala, y el avión asciende, mientras que al bajar el ángulo de ataque disminuye y el avión desciende.

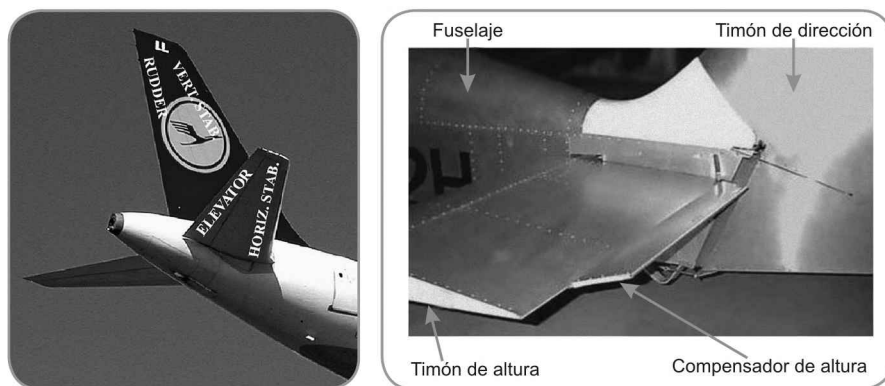


Figura 4.5. Timones de altura, dirección y compensador. Fuente: *Wikipedia*.

El *compensador de altura* consiste en una pequeña superficie situada sobre el timón de altura que es accionada desde la cabina por el piloto y que estabiliza aerodinámicamente el vuelo de la aeronave (ascenso o descenso o el vuelo de crucero). Compensa las variaciones de peso que se presentan a lo largo del vuelo, a medida que se consume el combustible, y el peso diferente en cada vuelo de la tripulación y el equipaje. Tiene una posición marcada para el despegue con el fin de que el piloto no tenga que hacer un esfuerzo excesivo sobre la palanca en esta fase del vuelo.

El *timón de dirección* está montado verticalmente y se mueve de lado a lado, provocando en vuelo un efecto de *guiñada*, es decir, que al accionarlo el morro del avión se desplaza a un lado en un plano horizontal. En el suelo dirige además la rueda delantera.

4.4. EL FUSELAJE Y TREN DE ATERRIZAJE

El fuselaje es el cuerpo principal del avión, está unido al ala y al empenaje, y alberga a los pilotos y pasajeros.

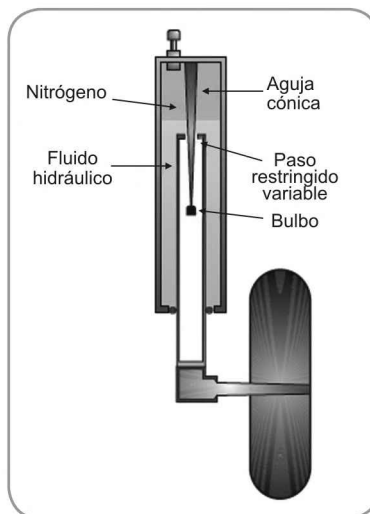


Figura 4.6. *Tren de aterrizaje .*

El tren de aterrizaje es normalmente del tipo triciclo con una rueda de proa, que es dirigida por los pedales del timón de dirección, y dos ruedas principales situadas debajo de las alas o en el fuselaje y detrás del c.d.g. Están dotadas de amortiguadores y de frenos hidráulicos individuales accionados por dos pequeños pedales dispuestos sobre los pedales del timón de dirección.

El tren de aterrizaje con patín de cola tiene su centro de gravedad detrás de las dos ruedas principales. Debido a ello, en la rodadura el avión tiene tendencia a desviarse de la línea recta, por lo que el piloto debe corregir accionando los pedales del timón de dirección e incluso los frenos para mantener el avión en una trayectoria recta. Esta tendencia se hace muy acusada en el aterrizaje, en el cual a partir de una desviación determinada del morro, la fuerza centrífuga originada hace que el avión gire sobre sí mismo (caballito).

4.5. EL MORRO

El morro (o la nariz) del avión alberga el motor, la hélice y la rueda delantera en el caso del tren de aterrizaje triciclo.

El *motor* en aviación ligera es de combustión interna de cuatro tiempos y doble encendido por magneto o bien motores diesel. Han aparecido aviones experimentales con motor eléctrico alimentado por baterías o por células de combustible de hidrógeno. Los aviones rápidos para ejecutivos y los grandes aviones de pasajeros disponen de motores de reacción.

La *hélice* convierte la potencia del motor en tracción para el avión. Es de dos o tres palas, y lanza un gran caudal de aire hacia atrás generando así un empuje hacia adelante.

4.6. ACCESORIOS

Otros elementos que contiene el avión son:

- **Luz estroboscópica**, que señala a distancia la presencia del avión en vuelo y sirve de aviso al ponerlo en marcha o durante el rodaje.
- **Luces de navegación**, una verde en el ala derecha, otra roja en el ala izquierda y una blanca en la cola que permiten a los demás aviones observar la trayectoria y el rumbo del avión.
- **Luz rotatoria**, montada normalmente en la parte superior de la cola.
- **Luces de aterrizaje**, que se encienden en tiempo brumoso, usualmente a petición del controlador, para que este distinga el avión de los demás en vuelo o como medida de seguridad para el piloto, para que le vean los demás tráficos.

La antena del *VOR* situada en la parte superior del fuselaje o en la cola, la antena del *respondedor* (*transponder*), el *tubo pitot* situado debajo del ala en una zona libre del torbellino de la hélice y las *tomas estáticas* colocadas rasantes en el centro del fuselaje.

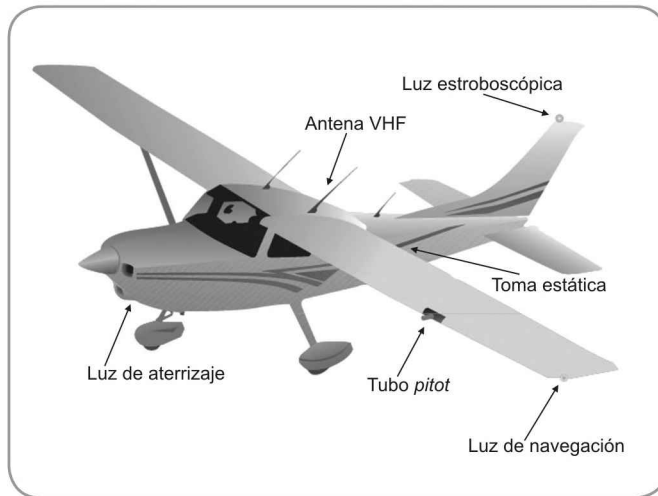


Figura 4.7. *Accesorios.*

4.7. SISTEMA DE COMBUSTIBLE

El *sistema de combustible* consta de uno o varios depósitos, tuberías, válvula selectora de los depósitos, bomba mecánica, bomba eléctrica, filtros y válvulas de drenaje. El combustible de aviación empleado está indicado en el manual del avión, se encuentra señalado al lado del tapón de llenado, y suele ser 100/130 AVGAS 100 LL de un mínimo de 100 octanos y de color azul. En reactores se usa el Jet A-1 incoloro o ligeramente amarillento.

Los depósitos de combustible pueden estar montados en el interior del ala, o bien formar parte de la estructura alar, o bien encontrarse en el fuselaje.

El combustible se alimenta, bien por gravedad (aviones de ala alta con los depósitos en el ala), o bien por presión mediante bombas de membrana accionadas por el motor y bombas eléctricas. Estas últimas se utilizan en la puesta en marcha y como seguridad en momentos delicados del vuelo; en el despegue, aproximación y aterrizaje y volando sobre montañas o sobre el mar, o en condiciones atmosféricas marginales o siempre que se detecte cualquier anomalía en vuelo.

En el caso de dos o más depósitos se recomienda cambiar de depósito cada 1/4 de variación de nivel mediante la válvula selectora, y hacerlo a una altura de seguridad conectando la bomba eléctrica.

Muchos aviones disponen de una válvula de interrupción del paso de combustible que solo debe accionarse en caso de emergencia (fuego o aterrizaje forzoso).

Los depósitos de combustible disponen de un sistema de medición de nivel (flotador), pero siempre es recomendable que el piloto en tierra, antes del vuelo, examine visualmente el contenido del depósito.

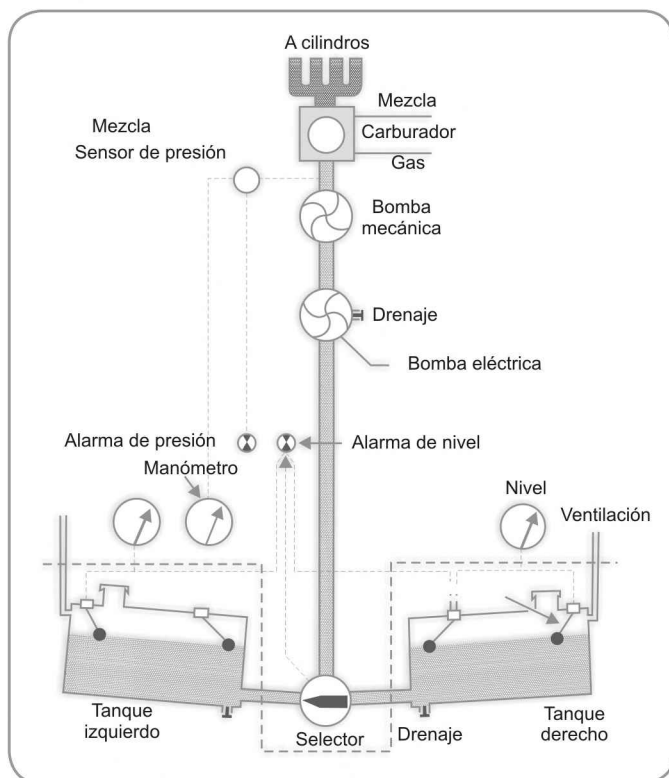


Figura 4.8. Sistema de combustible.

Los depósitos deben purgarse antes de cada vuelo, tomando una muestra del combustible y examinándolo para detectar la posible existencia de contaminantes, en particular el agua. En un ambiente húmedo, bastan unos pocos días con el avión parado con los depósitos medio llenos, para que se presenten condensaciones de vapor de agua, que, por ser de mayor densidad que la gasolina, van a depositarse en el fondo del depósito. Allí es aspirada por la bomba y enviada al carburador, con lo que, en un momento determinado, la mezcla aire-agua-gasolina puede dar lugar a la parada del motor. Se recomienda, pues, llenar completamente los depósitos al terminar el último vuelo del día, para evitar la condensación de agua. Otros contaminantes pueden provenir del llenado con gasolina almacenada en bidones susceptibles de contaminación.

No todo el combustible contenido en el depósito es utilizable para el motor. Una parte muy pequeña queda por debajo del nivel del filtro de aspiración y no puede llegar al motor. Por ejemplo, si la capacidad del depósito es de 120 l, solo son útiles 118 l y 2 l son inutilizables.

4.8. SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico se basa en la incompresibilidad de los líquidos. Una presión ejercida en un punto de un fluido hidráulico es transmitida a todos los puntos del circuito, con lo cual es fácil transmitir a distancia una fuerza considerable, con un esfuerzo mínimo por parte del piloto. De este modo, se accionan las superficies de control actuando sobre los mandos correspondientes. Con el dimensionamiento adecuado de los cilindros y de la sección de los pistones puede conseguirse la fuerza adecuada para mover los timones y los mandos auxiliares (tren de aterrizaje retráctil, flaps, frenos, dirección de la rueda delantera, etc.).

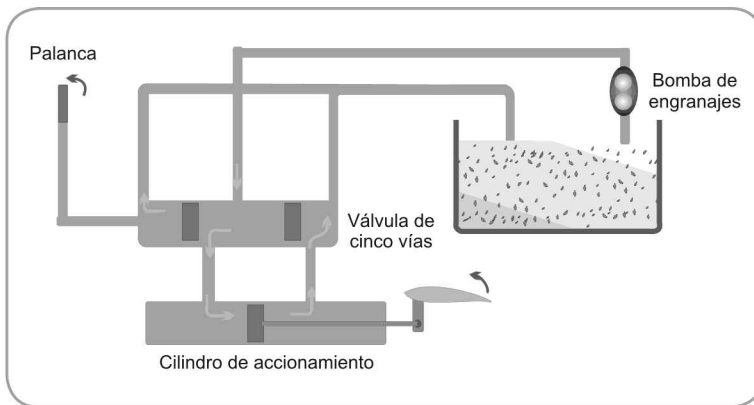


Figura 4.9. Sistema hidráulico.

También existen unidades manuales de emergencia que permiten el funcionamiento manual de los mandos, aunque sea a costa de un mayor esfuerzo por parte de la tripulación.

4.9. FLY-BY-WIRE

Los sistemas de accionamiento mecánico e hidráulico de los mandos del avión son pesados y precisan de una combinación de poleas, cables y tuberías, y no pueden adaptarse a las condiciones aerodinámicas del vuelo, de modo que son propensos a pérdidas de sustentación del ala, entrada en barrena y a oscilaciones inducidas por el piloto (*Pilot Induced Oscillations*, PIO).

Combinando los circuitos eléctricos con los ordenadores, se ahorra peso, se mejora la fiabilidad y se reducen los problemas mencionados anteriormente. Incluso estos

sistemas avanzados son utilizados en aviones de caza proyectados con características de vuelo inestables a fin de lograr una gran agilidad.

El sistema *digital fly-by-wire* reducen el trabajo del piloto ya que prácticamente los ordenadores vuelan el avión, y para prevenir fallos son de tres a cuatro veces redundantes.

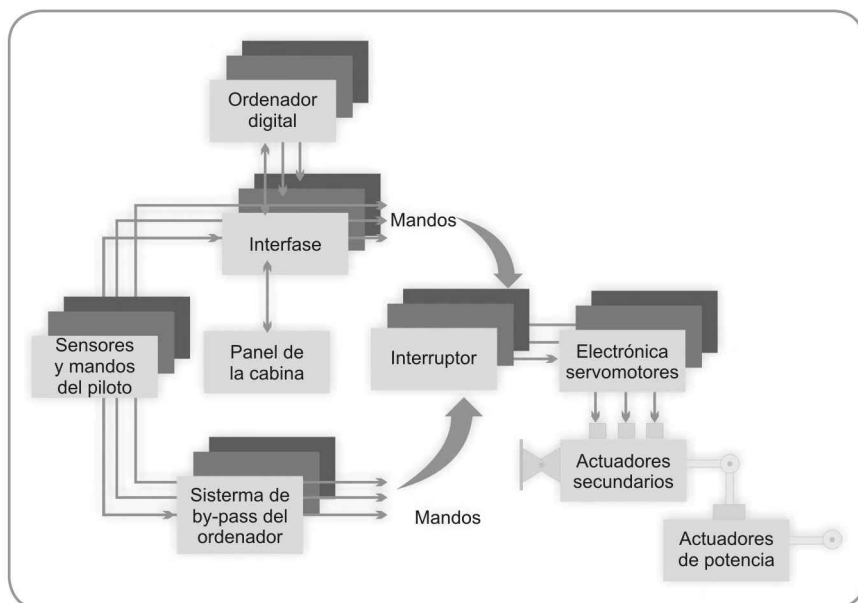


Figura 4.10. Esquema de control digital fly-by-wire y cabina Airbus A321.

El motor es controlado también de forma digital en el sistema que se llama FADEC (*Full Authority Digital Engine Control*), que permite conseguir el mayor rendimiento del avión ya que compensa fallos por mala operación del motor, daños en el avión o un trabajo excesivo del piloto.

En lugar de utilizar cables, el uso de fibras ópticas permite la transferencia de datos a altas velocidades y es inmune a la interferencia electromagnética.

Comportamiento de la aeronave en vuelo

5

En vuelo el avión está sometido a varias fuerzas, la propulsora del motor, la aerodinámica sobre las alas y el fuselaje y la debida a la inercia de su masa en movimiento.

5.1. FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL AVIÓN EN VUELO

Las cuatro fuerzas que actúan sobre un avión en vuelo son: sustentación, resistencia aerodinámica, empuje y la aceleración sobre la masa.

La *sustentación* es perpendicular al viento relativo, es una componente vertical de la fuerza aerodinámica del aire sobre el ala, y se aplica sobre el centro de presiones o aerodinámico. La sustentación equilibra en todo momento a la masa del avión, sea en vuelo horizontal o bien en maniobras en las que aumenta el factor de carga, tales como virajes ceñidos con una fuerza centrífuga importante, recuperaciones de picados con el piloto y el avión sometidos a varios g, etc.

$$L = \frac{1}{2} \rho * v^2 * S * C_F * \cos \alpha$$

Siendo:

- L = sustentación (peso avión * factor de carga).
- ρ = densidad del aire.
- v = velocidad.
- S = superficie alar.
- C_F = coeficiente aerodinámico.
- α = ángulo de ataque (cuerda aerodinámica con el viento relativo).

$$(C_L = \text{coeficiente de sustentación} = C_F * \cos \alpha)$$

Para variar la sustentación, el piloto puede actuar sobre la velocidad v y sobre el ángulo de ataque α , ya que los restantes factores son fijos. En todo caso, si cambia de altitud, variará la densidad del aire, pero no puede cambiar la superficie alar S (solo en los aviones de altas prestaciones de geometría variable), ni el coeficiente aerodinámico C_F .

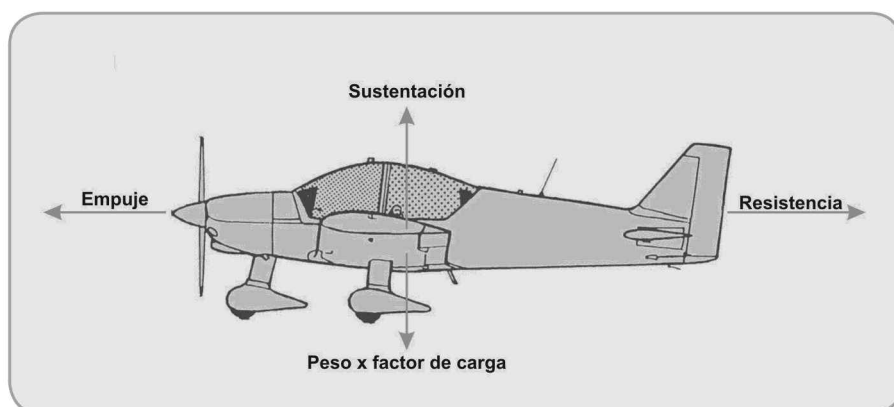


Figura 5.1. *Fuerzas en vuelo.*

La *resistencia aerodinámica* es la componente horizontal de la fuerza aerodinámica. Se compone de la *resistencia inducida* por el ala debido a la sustentación y de las llamadas *resistencias parásitas* originadas por los demás componentes del avión (fuselaje, alas, timones, tren de aterrizaje, etc.) en su movimiento a través del aire.

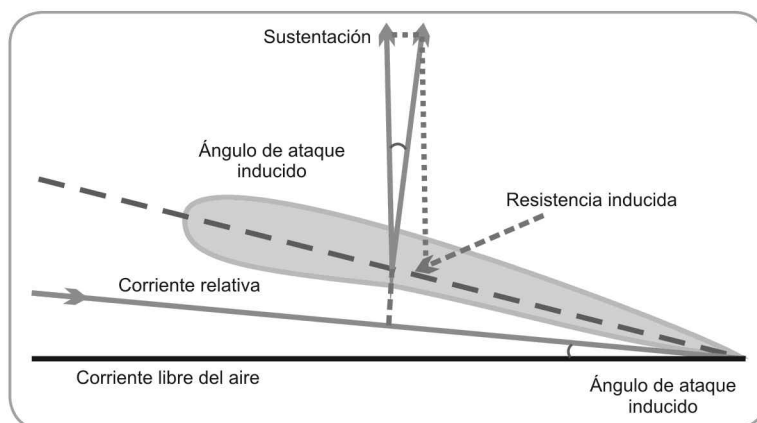


Figura 5.2. *Resistencia inducida.*

La resistencia inducida baja al aumentar la velocidad, ya que el ala disminuye proporcionalmente su ángulo de ataque. Las resistencias parásitas aumentan proporcionalmente al cuadrado de la velocidad.

El *empuje* es proporcionado por el motor y equilibra la resistencia inducida y la parásita.

La *masa* del avión está sometida a la atracción de la Tierra o a las aceleraciones del vuelo, y es compensada por la sustentación.

Todas estas fuerzas están equilibradas en vuelo horizontal a velocidad constante. Y en condiciones dinámicas de vuelo, se cumple:

- $\text{Peso} \times \text{factor de carga} = \text{sustentación}.$
- $\text{Empuje} = \text{resistencias (inducida + parásita)}.$

El avión durante el vuelo tiende continuamente al equilibrio entre estas fuerzas. Si, por ejemplo, el piloto pica, la sustentación bajará, ya que disminuirá el ángulo de ataque, el avión descenderá y ganará velocidad hasta que el correspondiente aumento de las resistencias iguale al empuje del motor. Si el piloto mete más motor, aumentará la velocidad y con ello la sustentación, y el avión ascenderá hasta que en ascenso se equilibre el empuje del motor con las resistencias.

5.2. PÉRDIDA

A partir de un cierto ángulo de ataque (18°), llamado ángulo de ataque crítico, las partículas de aire, debido a su inercia, no pueden seguir la curvatura del ala y se desprenden formando remolinos, con lo que el ala deja de sustentar y se dice que está en *pérdida*.

Antes de la entrada en pérdida del avión, se presenta una vibración en las alas y en los mandos por desprendimiento de los filetes de aire en el *extradós* del ala. Esta vibración se llama *bataneo*. El fenómeno del bataneo produce la agitación de la palanca de mando proporcionando al piloto una indicación de la inminente entrada en pérdida.

Existe un dispositivo llamado *avisador de pérdida* situado en el borde de ataque del ala, consistente en una plaquita que en la pérdida se levanta por la acción del aire, cuando el ala tiene un gran ángulo de ataque. Actúa a unos 4-6 nudos (7-10 km/h) antes de la entrada en pérdida excitando una bocina situada en la cabina (algunos aviones disponen además de una luz roja).

La velocidad a la que aparece la *pérdida* depende del tipo de avioneta, variando entre 80-90 km/h hasta 120-130 km/h. En los aviones de poca carga alar, puede alcanzar los 40 km/h (aviones STOL = *Short take-off and landing*). La pérdida aumenta en los virajes debido a que aumenta el factor de carga, ya que en estas condiciones de vuelo, la sustentación equivale a la proporcionada por la proyección horizontal del ala.

En el avión Robin 200 las velocidades de pérdida a varias inclinaciones son:

Tabla 5.1. *Velocidades de pérdida a varias inclinaciones del avión Robin 200.*

Condición	0°	30°	60°
Flaps (retraídos)	110 km/h (60 Kt)	118 km/h (64 Kt)	156 km/h (84 Kt)

Flaps 10° (despegue)	101 km/h (55 Kt)	109 km/h (59 Kt)	143 km/h (77 Kt)
Flaps 20° (aterrizaje)	96 km/h (52 Kt)	103 km/h (57 Kt)	136 km/h (73 Kt)

Para mayor seguridad, las alas están diseñadas para que el ángulo de ataque del perfil alar disminuya gradualmente desde la raíz (fuselaje) hasta las puntas. De este modo, el ala no entra en pérdida en su totalidad y el piloto tiene todavía mando sobre los alerones (situados en los extremos del ala).

Aunque la recuperación de la pérdida depende del tipo de avión y está descrita en el manual del aparato, lo normal es bajar el morro para aumentar la velocidad y aplicar potencia nivelando el aparato lo más pronto posible para perder la mínima altura.

El valor de la velocidad de pérdida es:

$$V = \sqrt{\frac{2 * W}{\rho * S * C_{L \text{ máx}}}}$$

Siendo: W = peso del avión x factor de carga.

ρ = densidad del aire.

S = superficie alar.

$C_{L \text{ máx}}$ = valor máximo del coeficiente de sustentación C_L .

La velocidad de pérdida es proporcional a W e inversamente proporcional a la densidad ρ del aire. A mayor altura con una menor densidad, la velocidad de pérdida será mayor.

Un avión volando a nivel del mar a una velocidad dada, genera en el ala una sustentación P_a , que es función de la densidad del aire a nivel del mar. El tubo Pitot del mismo avión, colocado usualmente en la parte inferior del ala, volando en estas mismas condiciones, experimenta una presión de impacto P_i , que depende también de la densidad del aire a nivel del mar.

Si a 2.000 m de altura se desea que el avión continúe volando en las mismas condiciones, el ala deberá sustentar el mismo peso P_a y la presión de impacto en el tubo Pitot deberá ser también P_i , lo que comportará una mayor velocidad del avión respecto al aire para conseguir, con la menor densidad del aire que existe a 2.000 m, la misma sustentación P_a y la misma presión P_i . La conclusión inmediata es que, para una velocidad tan importante como es la de pérdida, el anemómetro indicará el mismo valor de la velocidad indicada (IAS), tanto a nivel del mar como a 2.000 m o a cualquier altura y en cualquier condición atmosférica.

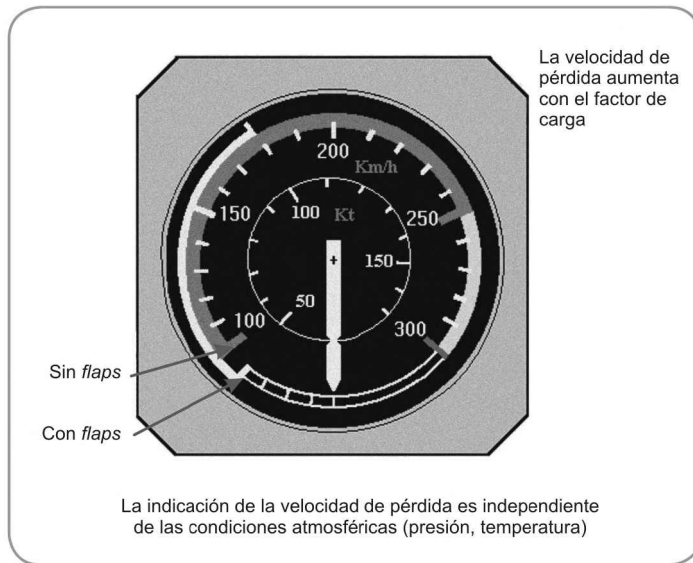


Figura 5.3. Indicación de la velocidad de pérdida en el anemómetro.

Se entiende que el peso del avión cambia si aumenta el factor de carga, por lo que en una curva pronunciada, la velocidad de pérdida será mayor. El vuelo en condiciones de turbulencia en el que debe reducirse la velocidad para limitar los esfuerzos estructurales sobre el avión, aumenta también la velocidad de pérdida por las variaciones en el factor de carga que tienen lugar durante el vuelo.

De especial importancia es el circuito de tráfico que el avión realiza para aterrizar, cuando llega al campo y pasa por los tramos viento en cola-base y final. Al virar 90° en cada uno de los tramos, se expone a alcanzar la pérdida si reduce demasiado la velocidad y vira con demasiada inclinación. En la Tabla 5.1 puede verse que el avión Robin HR-20, virando con 60° de inclinación, tiene una velocidad de pérdida de 156 km/h (84 nudos).

5.3. BARRENA

Un aspecto peligroso de la pérdida es que puede ser el inicio de la entrada en *barrena*. La barrena es una situación de vuelo en la que un ala está en pérdida y la otra no (pérdida asimétrica), de manera que, como resultado, el avión toma un movimiento de descenso en espiral, con una trayectoria helicoidal de eje vertical y de gran paso. A esta situación puede llegarse si, cuando el avión está en pérdida, volando con un gran ángulo de ataque, el piloto acciona bruscamente el timón de dirección, o los alerones, o es una ráfaga de viento la que interviene. Para salir de la barrena basta centrar el timón de dirección con los pedales para parar el viraje, o pisarlos en sentido contrario para parar la barrena en un punto determinado, tal como se procede en acrobacia, y después picar para ganar velocidad y dar motor.

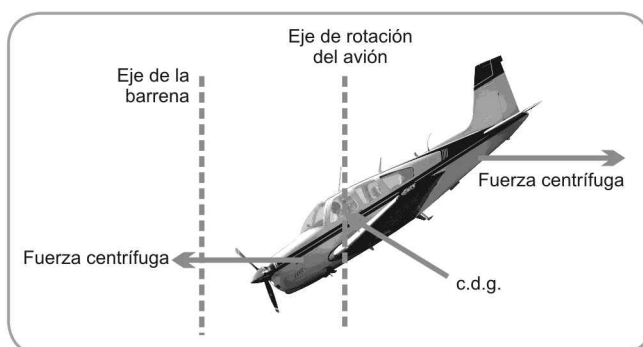


Figura 5.4. Barrena.

Durante la barrena el avión tiene su eje longitudinal inclinado hacia abajo (el morro apunta por debajo del horizonte). Si el avión tiene sus masas alejadas de su c.d.g. (centro de gravedad), o si la barrena se prolonga, la fuerza centrífuga que actúa sobre dichas masas tiende a poner el avión horizontal, de tal modo que la barrena normal pasa a ser una *barrena plana*. Esta es muy peligrosa por ser muy difícil salir de ella ya que, debido a que el timón de dirección recibe el aire mínimo, su acción no es suficiente para parar el movimiento de guiñada. En un avión bimotor cabe dar plena potencia al motor contrario al movimiento de guiñada para salir de la barrena plana.

5.4. MANDOS Y SUPERFICIES DE VUELO

El avión se mueve en el espacio alrededor de tres ejes llamados lateral o transversal, longitudinal y vertical.

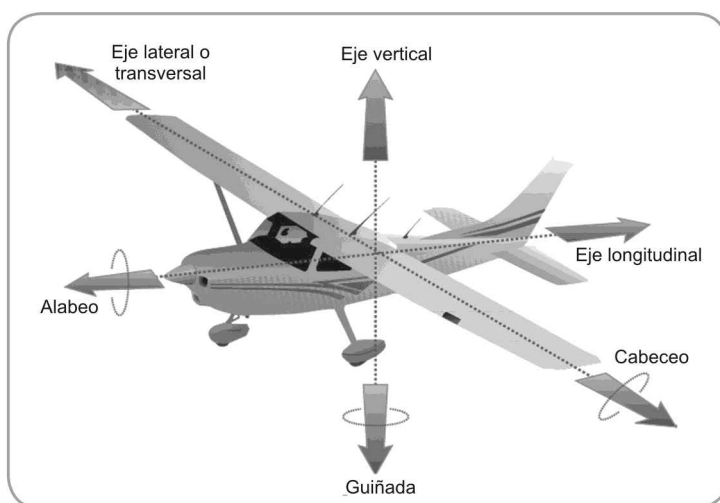


Figura 5.5. Ejes de movimiento de un avión.

El *eje lateral* o *transversal* está situado sobre el ala y une sus dos puntas. El movimiento aparente para el piloto se llama *cabeceo* (*pitch*), y es la subida o bajada del morro (cabeza del avión) respecto al horizonte.

El *eje longitudinal* está situado sobre la célula y une el morro del avión con su cola. Para el piloto, el avión tiene un movimiento llamado *alabeo* (*roll*), y se inclina a un lado u otro, como si el morro fuese el centro del círculo de movimiento del avión.

El *eje vertical* pasa por el centro de gravedad del avión y es perpendicular a los ejes lateral y longitudinal. Para el piloto, el morro se desvía a la derecha o a la izquierda conservando el horizonte la horizontal. El movimiento se llama *guiñada* (*yaw*).

Las superficies primarias de mando son los timones de altura o profundidad (*cabeceo*), los alerones (*alabeo*) y el timón de dirección (*guiñada*) que están unidos con cables o varillas (transmisión hidráulica o *fly-by-wire* en los grandes aviones) a los elementos de mando.

El *timón de altura* está colocado en el plano horizontal de cola. Al ejercer el piloto una presión hacia adelante sobre la palanca o el volante, el timón de altura crea sustentación, se levanta la cola, el morro del avión baja y el ala incide contra el viento a menor ángulo de ataque, con lo que el avión desciende. A la inversa, al tirar hacia sí de la palanca, el plano horizontal de cola pierde sustentación, la cola baja, el morro sube y aumenta el ángulo de ataque, ascendiendo el avión. Lógicamente, si el piloto desea un ascenso continuo debe aumentar la potencia, en caso contrario, el avión pierde velocidad y si el ascenso es pronunciado puede entrar en pérdida.

Los *alerones* se encuentran en los extremos de las alas. Para accionarlos, el piloto ejerce una presión sobre la palanca o sobre el volante hacia la derecha o hacia la izquierda. Si lo hace a la izquierda, el alerón de la derecha baja aumentando la sustentación de la punta derecha del ala mientras que el de la izquierda sube disminuyendo la sustentación de la punta izquierda del ala. El resultado es una inclinación hacia la izquierda seguida de un retraso del extremo derecho del ala respecto al izquierdo, provocado por la mayor resistencia aerodinámica del alerón que baja frente al que sube. Para compensar esta resistencia y conseguir un viraje coordinado, el piloto acciona el timón de dirección, pisando el pedal izquierdo lo necesario para centrar la bola en el inclinómetro. Asimismo, la sensación de su propio cuerpo le ayuda en la realización del viraje.

En algunos ultraligeros los alerones y los flaps están unidos, y se llaman flaperones, de este modo el mando de inclinación es más efectivo y la velocidad de pérdida con flaps es más baja.

El *timón de dirección* controla el movimiento del avión alrededor del eje vertical. El piloto lo acciona mediante unos pedales. Pisando el pedal izquierdo el avión efectuará un movimiento de *guiñada* hacia la izquierda, y lo hará hacia la derecha si pisa el pedal derecho. El timón de dirección compensa la diferencia de resistencia de los

alergones cuando el avión vira y permite realizar un viraje coordinado. También permite inclinar el avión sin que vire por medio del cruce de mandos entre los alergones y el timón de dirección, técnica llamada *resbale*, usada para perder altura rápidamente, o para aterrizar con viento lateral.

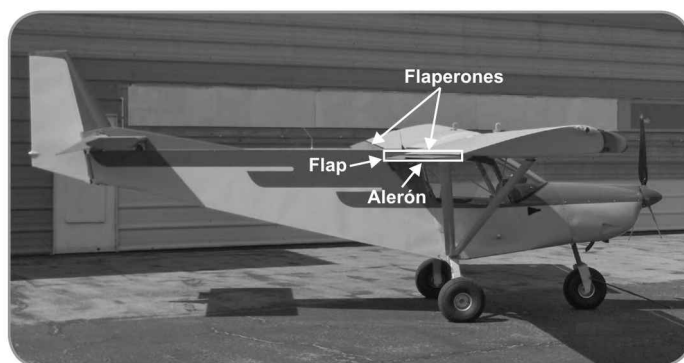


Figura 5.6. *Flaperones (flaps + alergones).*

Con el fin de liberar al piloto de esfuerzos continuos durante el vuelo, se usan los *compensadores*, que permiten mantener el avión en una posición determinada, compensando el peso de los pilotos, el de la gasolina consumida y el del equipaje. Suele utilizarse únicamente el compensador de profundidad. El timón de dirección dispone normalmente de un compensador fijo que es ajustable en el suelo. No obstante algunos aviones de altas prestaciones pueden ajustar el compensador de dirección en vuelo.

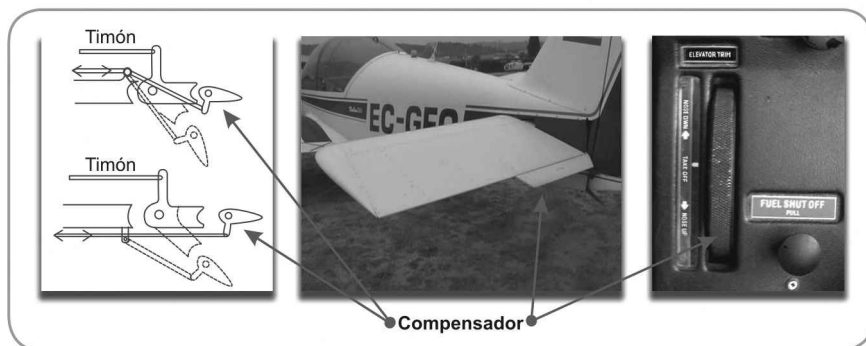


Figura 5.7. *Compensadores.*

Los *estabilizadores móviles* son los planos horizontales de cola que son ajustables y permiten la compensación lateral del avión. Los planos son móviles en todo su recorrido.

Algunos mandos de vuelo auxiliares disponen de sistemas eléctricos para su accionamiento, por ejemplo, los flaps.

5.5. CARGA Y CENTRADO

A veces el piloto se olvida de realizar los cálculos de carga y centrado del avión, con las consecuencias de no poder despegar si la carga supera la máxima dada en el manual del avión o, lo que es más grave, despegar pero con problemas serios en el vuelo al estar el centro de gravedad fuera de límites (hoja de características de la aeronave).

La sobrecarga de un avión reduce la aceleración y la velocidad, el ángulo de subida, la autonomía, aumenta la velocidad de pérdida, reduce la eficacia de los frenos y, en aviones bimotores, impide ascender o mantener la altura con un solo motor.

Si el c.d.g. se encuentra muy adelantado (el morro pesa), es difícil despegar y aterrizar y se tiene un mayor consumo de combustible ya que el avión debe volar con un gran ángulo de ataque en las alas.

Si está desplazado hacia atrás (la cola pesa), la rotación en el despegue es prematura, puede entrar fácilmente en pérdida, existe inestabilidad en turbulencias y es difícil la recuperación de una barrena producida después de una entrada en pérdida.

El peso básico en vacío (BEW, *Basic Empty Weight*) es el peso de la estructura más el motor o motores y los sistemas y equipos que son parte integral de la aeronave.

El centro de gravedad (c.d.g.) del avión es el punto donde el avión estaría equilibrado si pudiera suspenderse de este punto. Los límites del c.d.g. vienen dados en el manual de vuelo del fabricante.

El c.d.g. se mide desde una línea de referencia llamada datum. Esta corresponde a un plano imaginario establecido por el fabricante, perpendicular al eje longitudinal del avión con relación al cual se calculan los momentos de los pesos que actúan en el avión, es decir:

$$\text{Momento} = \text{Peso} * \text{Brazo (distancia de aplicación del peso al datum)}$$

El datum puede ser la línea del vértice del cono de la hélice, el borde de ataque del ala, etc. Si el peso está situado delante del *datum* el momento puede ser con signo negativo.

Para calcular la posición del c.d.g. se aplica la ecuación de momentos con los brazos (distancias al *datum*) proporcionados por los fabricantes, o bien se utilizan gráficos.

Tabla 5.2. Momentos (referencia datum – punta del cono de la hélice).

Items	Equipos	Peso (kg)	Brazo (m) (distancia al datum)	Momento kg*m	Posición del c.d.g. (m) (momento/ peso total)
1	Peso en vacío (combustible no utilizable, aceite y equipo extra)	670	2,215	1.484	
2	80 l gasolina de densidad 0,72 kg/l	57,6	2,413	139	

Items	Equipos	Peso (kg)	Brazo (m) (distancia al datum)	Momento kg*m	Posición del c.d.g. (m) (momento/ peso total)
3	Piloto y pasajero en el asiento frontal	148	2,045	303	
4	Pasajeros asiento posterior	145	3	435	
5	Equipaje o asiento para niño	40	3,627	145	
6	Total	1060,6		2.506	2,3626
	Límites	1.055			Límites c.d.g. 2,210 a 2,370 m detrás del datum

El manual del fabricante indica que en la categoría normal el peso máximo es de 1.070 kg y que los límites del c.d.g. del avión (distancias al datum = vértice del cono de la hélice) son:

Límite anterior = 2,210 m, Límite posterior = 2,370 m.

Luego el peso de 1.060,6 kg y la posición calculada del c.d.g. de 2,3626 m está dentro de límites. Algunos manuales proporcionan el gráfico de envolvente del c.d.g. que permite comprobar si el c.d.g. se encuentra dentro de límites.

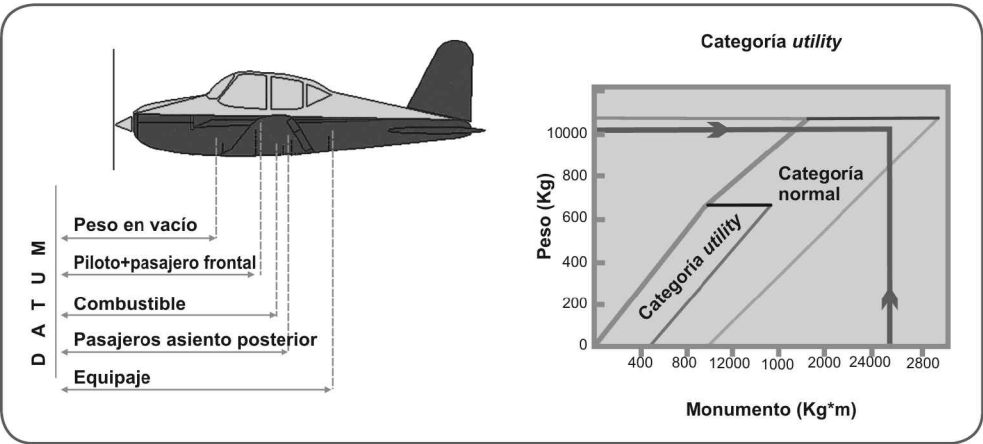


Figura 5.8. Línea datum y gráfico de envolvente del centro de gravedad.

Para mayor seguridad podría calcularse el c.d.g. con carga extrema delantera y con carga extrema trasera.

5.6. MANIOBRAS DE VUELO

La estabilidad, maniobrabilidad y control de la aeronave dependen del equilibrio existente entre la tracción de la hélice, la resistencia al avance del avión, la fuerza de sustentación del ala y el peso de la aeronave.

5.6.1. Estabilidad

La estabilidad de un avión es la tendencia para volver a una posición de equilibrio después de haber sido separado de ella por una perturbación. Esta perturbación puede ser una ráfaga, corrientes verticales térmicas, etc.

- **Estabilidad estática:** la posición de equilibrio del avión se considera en condiciones de vuelo constantes. Por ejemplo, volando en una trayectoria recta a velocidad constante, o en un giro con radio y altura constantes. La estabilidad estática puede ser:
 - Positiva (estable) cuando al desplazarse el avión de su posición de equilibrio tiende inicialmente a volver a la misma. El piloto debe hacer un esfuerzo considerable para cambiar la trayectoria del vuelo.
 - Negativa (inestable) cuando tiende a alejarse de la posición primitiva. Un avión acrobático pertenece a este grupo, siendo muy fácil para el piloto ejecutar cualquier maniobra, pero también es más incómodo.
 - Neutra (indiferente) cuando no se aleja ni retorna a su posición inicial. Es el avión ideal para volar en tiempo turbulento porque ante una perturbación cambiará de posición y a la siguiente retornará a la posición primitiva, pero sin oscilar continuamente, como ocurre en un avión demasiado estable, que intenta volver siempre a la posición inicial.
- **Estabilidad dinámica:** es la trayectoria de respuesta del avión a lo largo del tiempo después de someterse a una perturbación. Los tipos de estabilidad dinámica son:
 - Estabilidad dinámica positiva si, aunque sea de modo oscilatorio, regresa a una posición de equilibrio. Por ejemplo, un avión que ascienda por térmicas y regrese a la altitud inicial.

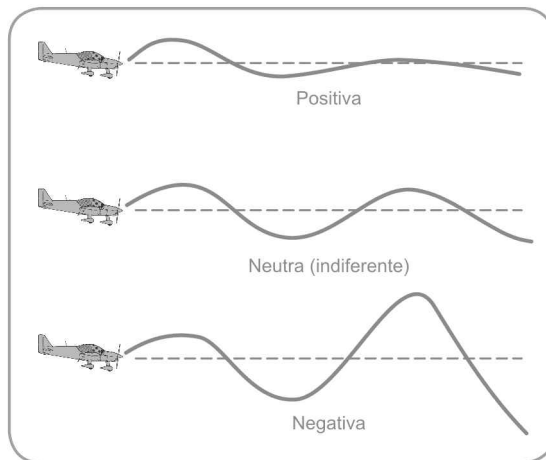


Figura 5.9. Estabilidad dinámica.

- Estabilidad dinámica neutra o indiferente si las oscilaciones no se amortiguan y son indefinidas. En el caso anterior, si el avión va ascendiendo y descendiendo con relación a una misma altura.
- Estabilidad dinámica negativa si las oscilaciones van aumentando con el tiempo y no se amortiguan. Si el piloto no realizara ninguna acción correctora, un avión de estas características iría oscilando hasta estrellarse contra el suelo.
- **Estabilidad longitudinal:** es la tendencia del avión para retornar a su posición de equilibrio después de recibir una perturbación (cabeceo) según el eje transversal o lateral. El avión adopta un nuevo ángulo de ataque y puede retornar o no a la posición de equilibrio anterior. La estabilidad longitudinal depende de las posiciones del c.d.g. y del centro aerodinámico (punto donde se aplica la sustentación).

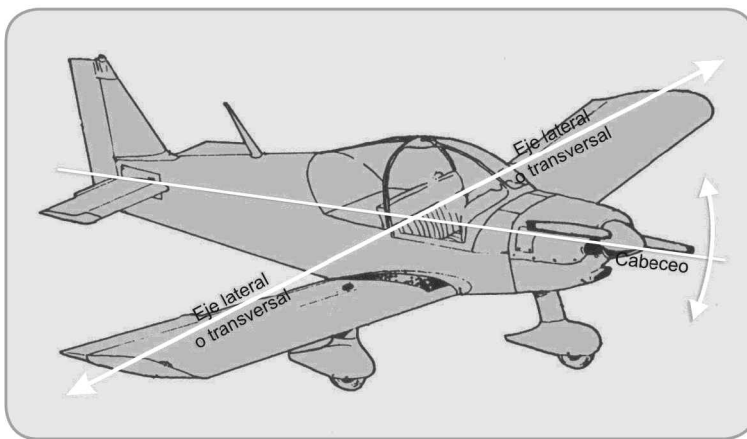


Figura 5.10. Estabilidad longitudinal.

Para que el avión tenga tendencia a picar, el c.d.g. debe estar siempre por delante del centro aerodinámico. Si coinciden ambos, se tiene una estabilidad longitudinal neutra.

Si el c.d.g. se encuentra por detrás del centro aerodinámico, el avión tiene tendencia a encabritarse. El centro aerodinámico se mueve hacia adelante a medida que aumenta el ángulo de ataque, estando sus límites entre el 25% y el 60% de la cuerda aerodinámica. El c.d.g. tiene también sus límites que el piloto debe respetar (carga y centrado en tierra consignados en el manual del avión), pero no cambia apreciablemente en vuelo (consumo de combustible, movimiento de pasajeros, movimiento del equipaje, etc.)

Los aviones ligeros tienen una excelente estabilidad longitudinal.

- **Estabilidad lateral:** Es la tendencia del avión para retornar a su posición de equilibrio después de recibir una perturbación según el eje longitudinal. El avión experimenta un movimiento de giro (alabeo) alrededor del eje longitudinal bajando un ala y subiendo la otra.

Normalmente las alas están colocadas en el fuselaje formando un ángulo diedro. Si el avión se inclina, debido al diedro de las alas, el ala que baja está más horizontal que el ala que sube y por lo tanto tiene más sustentación, por lo que el avión tiene tendencia a retornar a su posición de equilibrio.

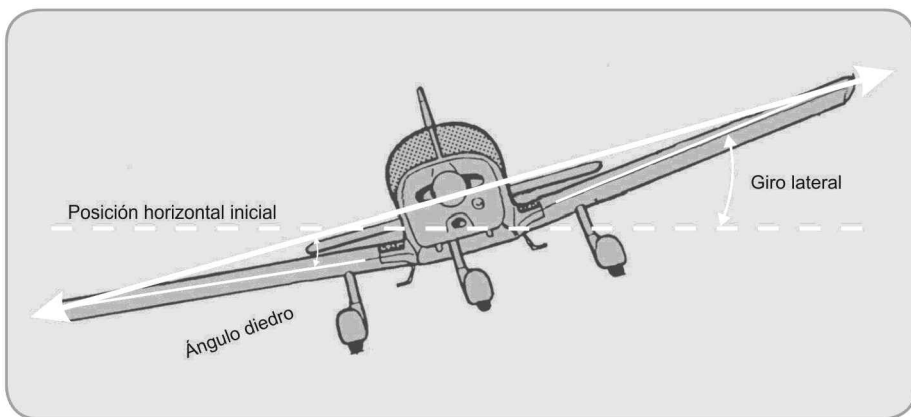


Figura 5.11. Estabilidad lateral.

La flecha del ala también estabiliza. Por ejemplo, si el avión resbala a la derecha, el ala derecha presenta una mayor superficie de vuelo al aire de la marcha que la izquierda, por lo que tiene más sustentación y como consecuencia la punta del ala derecha sube intentando volver a la posición del equilibrio.

5.6.2. Virajes

El movimiento de *balanceo* o de giro de la aeronave se efectúa mediante los *alerones* que el piloto acciona con la palanca o el volante. Como resultado, un alerón sube y el otro baja, y se producen diferencias de sustentación entre ambos extremos del ala, con lo que el avión se inclina. Al mismo tiempo, la diferencia de resistencias aerodinámicas entre los alerones retrasa la punta más elevada del ala con respecto a la inferior opuesta y el avión tiene tendencia a derrapar.

Para realizar el viraje correctamente, el piloto acciona además el *timón de dirección*, mediante los pedales, y desvía así el morro del avión en el mismo sentido que el viraje (la cola del avión en sentido contrario al pedal accionado). Un instrumento de *nivel de bola indica* si el giro efectuado es el correcto (la bola tiene que estar en el centro).



Figura 5.12. *Viraje coordinado.*

Durante la maniobra, el avión pierde sustentación por presentar una menor proyección horizontal del ala, por lo que el piloto debe accionar el timón de altura para aumentar el ángulo de ataque y conseguir un viraje horizontal. Incluso, puede ser necesario dar más motor para conservar la velocidad por encima de la pérdida, ya que esta aumenta en el viraje.

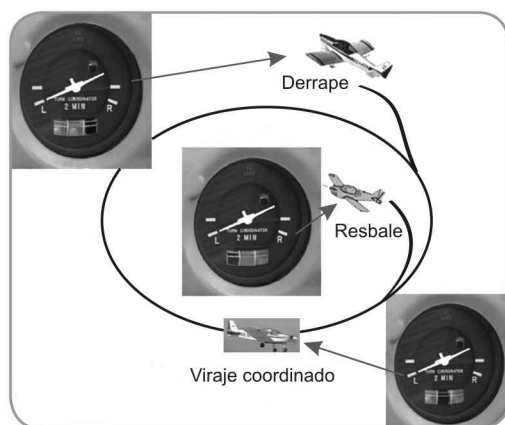


Figura 5.13. *Derrape y resbale.*

El *derrape* es la tendencia del avión a salir por el exterior de la curva de giro por una mala maniobra en el viraje. En estas condiciones, la bola del coordinador de virajes se sitúa hacia el exterior de la curva y el piloto, y para realizar correctamente el viraje, debe pisar el pedal del timón de dirección del mismo lado que la desviación de la bola (como si pisara la bola).

En el *resbale* o *deslizamiento* el avión tiende a ir hacia el interior de la curva de giro y en el mismo sentido se sitúa la bola del coordinador de virajes. El piloto debe pisar el pedal del timón de dirección correspondiente al mismo lado que la desviación de la bola.

5.6.3. Despegue

El avión, para *despegar*, debe llegar a una velocidad superior a la de la pérdida, llamada «*velocidad de rotación*», en la cual la rueda delantera se levanta del suelo. La maniobra de despegue es sencilla; es suficiente dar motor y prácticamente la avioneta, cuando la velocidad es suficiente, despegue sola. Sin embargo, es una maniobra peligrosa. En el caso de paro de motor y sin suficiente longitud de pista para frenar el avión, lo único que el piloto puede hacer es aterrizar hacia adelante con solo una ligera desviación. No se puede virar en redondo porque su altura es insuficiente y al alargar el planeo entraría fácilmente en pérdida estrellándose con seguridad.

Al dar gas en el momento de despegar, el par giroscópico del motor tiende a que el morro del avión vire a la izquierda, y el piloto debe compensarlo apretando el pedal derecho del timón de dirección.

A medida que el avión va ganando velocidad, los mandos se vuelven más sensibles, y cuando la velocidad alcanza la de rotación (la rueda delantera se levanta), la aeronave se elevará con suavidad. Se mantiene la potencia del motor y se ajustan los parámetros para obtener un ascenso continuado. La mejor velocidad ascensional (mejor tiempo de subida o mejor pendiente de subida) viene indicada en el manual del avión. Durante toda la fase del despegue se mantienen referencias visuales para que el avión esté alineado con el eje de la pista, y la posición del morro respecto al horizonte debe ser la adecuada para que esta velocidad se mantenga. A una altura segura (más de 500 pies sobre el terreno: AGL *Above Ground Level*) se suben los flaps y se desconecta la bomba eléctrica de seguridad, es decir, en el momento del despegue y hasta ascender a la altura segura, funcionan en paralelo la bomba mecánica y la bomba eléctrica para que, en el caso de que fallara la mecánica, la eléctrica continuase alimentando de gasolina el carburador.



Figura 5.14. Despegue.

En el caso de despegar con viento de costado y durante el inicio del despegue, cuando el avión no ha adquirido suficiente velocidad, se utiliza el mando de alabeo para situar los alerones contra el viento. Si el viento es muy fuerte, puede que en la carrera inicial sea necesario incluso apretar el freno de la rueda contraria al viento, ya que este golpea el fuselaje y el timón de dirección, y tiende a encarar el avión perpendicularmente a la pista. Este efecto es más notable en los aviones con rueda de cola que no tienen el efecto estabilizador de la rueda delantera. Una vez alcanzada la velocidad de rotación, las alas desarrollan suficiente sustentación y el mando de los alerones es efectivo, de modo que el piloto tiene un pleno control aerodinámico sobre la aeronave y puede elevarse con seguridad gobernando el avión para seguir una trayectoria prolongación de la pista. Es recomendable despegar sin flaps o con estos solamente en un ángulo pequeño (unos 15°), para que el avión no sea influido por el viento.

Los grandes aviones usan velocidades aerodinámicas que dependen del peso de la aeronave, de la longitud de la pista, de las condiciones meteorológicas y de otros factores. Son:

- V_{mc} = velocidad mínima de control con un motor parado y el otro a plena potencia.
- V_1 = velocidad de decisión para el despegue o para abortarlo.
- V_r = velocidad de rotación en la que se eleva el morro.
- V_2 = velocidad de seguridad de despegue con el avión en el aire sin iniciar todavía el ascenso.

5.6.4. Aterrizaje

No es una maniobra peligrosa si se vuela a una altura suficiente para planear, pero es difícil su ejecución perfecta. La disminución gradual de la altura la realiza el piloto en final (a la vista de la pista y directo a la misma), gracias a la variación de perspectiva que el terreno y los objetos (piedras, hierba, líneas pintadas en la pista, etc.) le van presentando a medida que el avión va perdiendo altura. La clave para el aterrizaje es la percepción del punto donde irá a parar el avión como punto, que para el ojo del piloto permanece inmóvil sin cambios, desde larga final hasta la pista. Por encima de este punto, la zona superior del terreno tendrá una ascendencia aparente (el avión pasaría por debajo), mientras que en la zona inferior el movimiento aparente será de descendencia (el avión pasaría por encima). En los momentos finales del aterrizaje, cuando el avión ya está sobre el punto de contacto, el piloto va tirando hacia sí la palanca o el volante del timón de altura para mantener el avión a unos palmos de la pista, hasta llegar a la pérdida, de tal modo que es capaz de acertar el instante en que las ruedas van a tocar el suelo.

Un aterrizaje con viento fuerte de cara permite llegar al suelo con una menor velocidad relativa y el avión se para en un espacio mucho menor.

Después de la toma de contacto, se frena suavemente, se suben los flaps, se elimina la calefacción del carburador y se desconecta la bomba eléctrica de seguridad que se había conectado en el circuito de tráfico.

El aterrizaje con un tren triciclo no presenta dificultades especiales, el tren es estable, de modo que el piloto, una vez está rodando, le basta dirigir la rueda de morro con los pies en los pedales para llevar el avión hasta la salida de la pista.

En cambio, en el avión con tren de aterrizaje con rueda de cola la maniobra de aterrizaje es ligeramente distinta. El avión se posa prácticamente en pérdida para que las dos ruedas delanteras y la de cola entren en contacto con la pista al mismo tiempo.

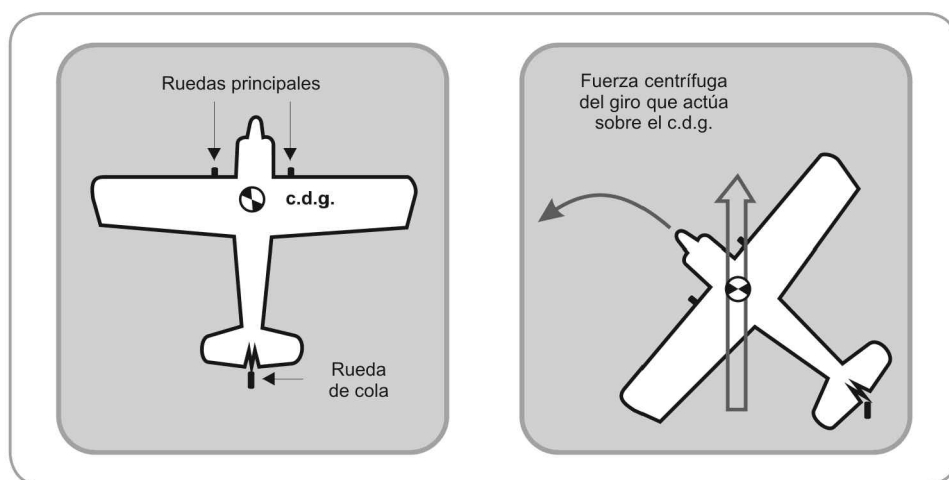


Figura 5.15. Aterrizaje con un avión con rueda de cola.

La dificultad empieza después cuando las tres ruedas están en el suelo y la velocidad del avión todavía es elevada. Como el centro de gravedad del avión está detrás de las dos ruedas principales, el avión tiene tendencia a desviarse de la línea recta, por lo que el piloto debe corregirlo accionando alternativamente los pedales del timón de dirección e incluso los frenos para mantener el avión en una trayectoria recta. Si permite una desviación determinada del morro, la fuerza centrífuga originada hace que el avión gire sobre sí mismo (caballito), con lo que el piloto, una vez el avión se ha parado, sale avergonzado de la cabina, en particular si tiene público (otros pilotos) que han estado viendo su vuelo. Si esta mala maniobra ha ocurrido a buena velocidad, es posible que el avión toque con el extremo de un ala en la pista, con el daño correspondiente.

El piloto profesional afirma que «un aterrizaje con un avión dotado de tren de cola no ha terminado hasta que el avión se ha aparcado, se le han puesto los calzos y el piloto está en su casa con una bebida fría en la mano».

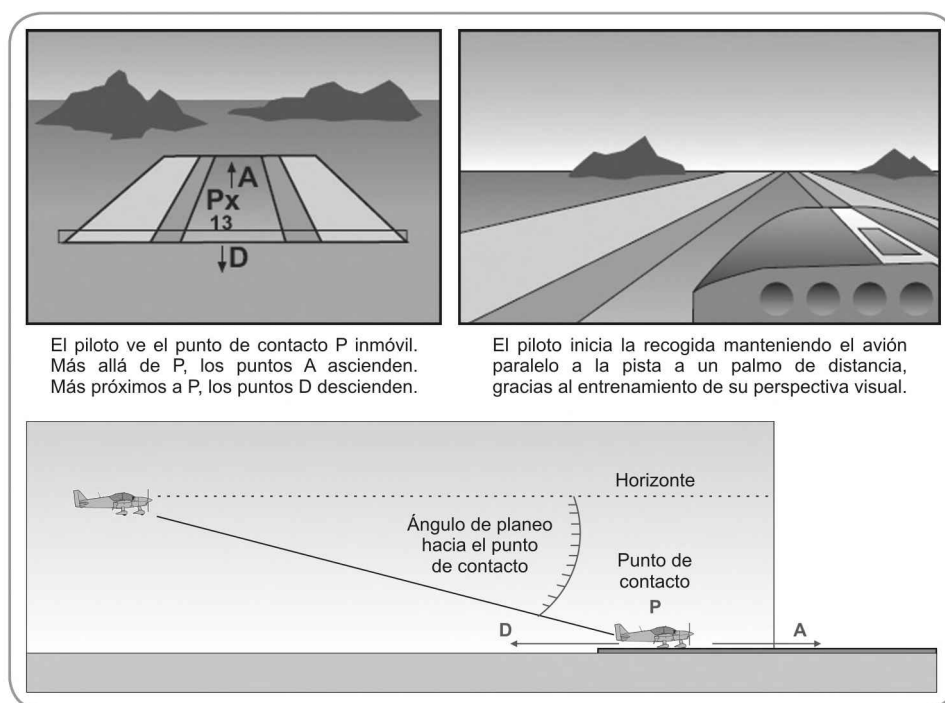


Figura 5.16. *Cambio perspectiva en el aterrizaje.*

En la aproximación para el aterrizaje con viento lateral, son posibles dos técnicas que pueden combinarse para que la trayectoria de la aeronave sea rectilínea hacia la pista en servicio:

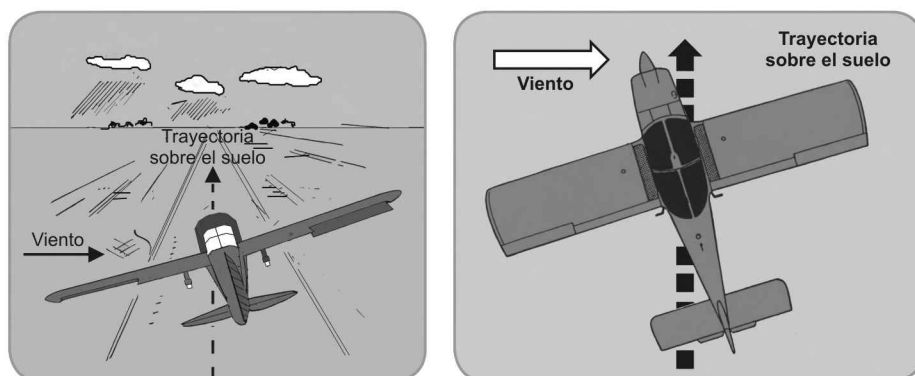


Figura 5.17. *Aterrizaje con viento lateral.*

- a) **Posición desviada** dirigiendo el avión a otro rumbo contrario al viento, de tal modo que se compensen entre sí la velocidad del viento y la del avión.

Al llegar a la pista debe enderezarse el avión cambiando el rumbo al de la pista. Gracias a su inercia, el avión continuará en vuelo recto. No obstante, puede ser necesario utilizar los alerones contra el viento y el mando de dirección contrario (segunda técnica).

- b) Posición inclinada** contra el viento utilizando el alabeo y el mando de dirección contrario para que el avión no vire, y sí resbale o se deslice en el aire, de tal modo que la velocidad de deslizamiento sea igual a la del viento. El avión llega a la pista en la misma posición inclinada que tenía en la aproximación, de modo que el piloto tiene la posibilidad de que la rueda del lado del viento toque en primer lugar. En cierto modo, el piloto continúa ejerciendo un control aerodinámico durante todo el aterrizaje.

El viento cruzado máximo es de unos 40 km/h (22 kt). Ante velocidades más elevadas es aconsejable desistir del aterrizaje en el aeropuerto en cuestión, y proceder a otro aeropuerto alternativo que no se encuentre en estas condiciones.

5.7. MANIOBRAS BÁSICAS

5.7.1. Técnicas usuales en pilotaje

5.7.1.1. *Vuelo recto y horizontal*

El piloto acciona la palanca o el volante y el compensador para fijar el ángulo de ataque del ala, el alabeo para mantener los planos de las alas horizontales, y por lo tanto la actitud de la aeronave, y la potencia necesaria del motor para mantener la misma altura.

En el vuelo visual, el rumbo se mantiene inicialmente con la brújula magnética y/o giroscópica. Se fija la vista en algún punto visible y característico del terreno que esté en el horizonte, y se vuela directamente hacia dicho punto. Al llegar a sus proximidades se vuelve a situar el avión en el rumbo deseado mediante la brújula magnética y/o giroscópica fijándose la vista en otro punto de guía en el horizonte, y así sucesivamente. Este procedimiento permite minimizar las variaciones de rumbo provocadas por el viento, y mantener un rumbo preciso.

En tiempo turbulento, se reduce la velocidad a la recomendada por el fabricante. Si es posible se asciende a mayor altura, para encontrar menos turbulencia. A partir del nivel de transición fijado en la carta de aproximación del aeropuerto, el piloto ajusta el altímetro a la presión estándar de 1.013,2 milibares, para obtener el nivel de vuelo, por ejemplo, nivel 80 = 8.000 pies.

5.7.1.2. *Ascenso*

Según el valor del ascenso requerido (m/s o pies/minuto) el piloto da la potencia necesaria al motor, manteniendo una velocidad indicada segura y una actitud del

avión con el mando de profundidad. Mediante el compensador consigue el ascenso deseado sin necesidad de ejercer fuerza alguna sobre el mando de altura. La mezcla debe ser rica. La atención del piloto debe repartirse entre la actitud del avión, los instrumentos y el exterior (para ver otros tráficos y evitar colisiones).



Figura 5.18. Altimetro (el botón izquierdo ajusta el QNH (1.030 mb) en la ventanilla derecha).

Antes de despegar debe haber reglado el altímetro según el QNH (presión atmosférica a nivel del mar que en la Figura 5.18 es de 1.030 mb), o ajustar según las cartas, la elevación de la pista de vuelo con relación al nivel del mar. En vuelo a partir del nivel de transición ajustará la presión estándar de 1.013,2 milibares en la ventanilla de Kolsman (en el altímetro), para obtener el nivel de vuelo. A una altura determinada el piloto debe nivelar el avión ajustando los parámetros a la configuración de vuelo recto y horizontal.

5.7.1.3. Descenso

Según el valor del descenso requerido (m/s o pies/minuto), el piloto reduce la potencia del motor, manteniendo una velocidad indicada segura, y con el compensador consigue el descenso deseado sin ejercer ninguna fuerza sobre el mando de altura. Dependiendo del régimen del motor y de las condiciones atmosféricas, pone la calefacción del carburador, y si el descenso es prolongado acciona periódicamente el mando del gas para evitar que el motor se enfríe. Dependiendo de la altura de vuelo, reajusta la mezcla aire-gasolina o la sitúa en mezcla rica.



Figura 5.19. Variómetro.

El descenso para aproximación al aeropuerto debe ser muy suave y debe iniciarse con un mínimo de 5-10 minutos antes de la llegada al punto de notificación (punto para pedir instrucciones de aproximación y aterrizaje al aeropuerto). Hay tiempo para ajustar la actitud, la potencia y el compensador, mientras se consultan las cartas para realizar los procedimientos de entrada al circuito, previa la notificación por radio a la torre de control.

5.7.2. Pilotaje en vuelo instrumental

El pilotaje instrumental se realiza en los vuelos IFR o bien en los VFR cuando el piloto se encuentra por sorpresa volando en condiciones marginales de visibilidad.

El hombre está perfectamente bien adaptado a la vida terrestre. Puede guardar el equilibrio sin utilizar el sentido de la vista, siempre que sus movimientos sean limitados. Pero en el aire, y sin referencias visuales (volando dentro de nubes o con niebla en el mar donde se confunden el mar y el cielo), es engañado por las sensaciones que le llegan desde el órgano del equilibrio del aparato vestibular. Llega a perder el sentido de orientación espacial y no sabe la posición que tiene su cuerpo con relación a la Tierra. A este estado se le llama desorientación espacial. Es similar a lo que le ocurre a un esquiador que en días de niebla cae al suelo por no tener referencias visuales claras del terreno.

Al piloto no le es posible volar sin visibilidad con solo el altímetro, el anemómetro y el variómetro, ya que estos instrumentos tienen un retardo inherente de varios segundos. Se han realizado pruebas en aviones con asientos en tándem, con el panel delantero dotado de los instrumentos clásicos anteriores y el panel posterior disponiendo de instrumentos giroscópicos adicionales. Al meterse el avión dentro de nubes y pilotarse desde el asiento delantero, el vuelo, de recto y horizontal, ha pasado a la barrena en un tiempo máximo de dos minutos.

El piloto debe saber interpretar la información dada por los instrumentos y prescindir de sus propias impresiones falsas. Por ejemplo, si realiza un viraje estabilizado y correcto en condiciones de vuelo sin visibilidad, tendrá la impresión de que el avión está en vuelo horizontal (al mirar el indicador de viraje comprobará la discrepancia).

Los instrumentos para el vuelo sin visibilidad son esencialmente giróscopos que tienen la propiedad de resistirse a cambiar de posición en el espacio. Es decir, si un avión en vuelo horizontal inicia un viraje, el instrumento giroscópico continuará manteniendo la misma posición que tenía antes con relación a la Tierra e indicará por cambio de posición del avión cuál es el nuevo estado del vuelo. Otra propiedad es la precesión, en la que al actuar una fuerza, el instrumento reacciona como si la fuerza se hubiera aplicado a 90° .

Los instrumentos giroscópicos son:

- Horizonte artificial.

- Giro direccional o brújula giroscópica.
- Coordinador de virajes (bastón y bola).

Los instrumentos de *control primario* para el vuelo son la potencia (gas) y el horizonte artificial (actitud del avión). Permiten llevar al avión en la deseada trayectoria.

Los instrumentos de *performance o actuación* del avión son el altímetro, el anemómetro, el variómetro, el direccional (brújula giroscópica), el indicador de virajes (bastón y bola) y la brújula magnética.

La actitud de cabeceo es presentada por un avión miniatura fijado al horizonte artificial, que proporciona también la inclinación, y que indica exactamente la posición de la aeronave. El piloto ajusta el avión miniatura en vuelo horizontal, de modo que en un ascenso estará por encima de la línea que representa el horizonte, mientras que en un descenso será al contrario.

El coordinador de virajes indica el ángulo de inclinación lateral. El viraje normal es de 3° por segundo ($2'' = 360^\circ$) en aviación ligera y de $1,5^\circ$ por segundo ($4' = 360^\circ$) en los grandes aviones de pasajeros con mayor velocidad.

La respuesta del horizonte artificial a cambios en la actitud es inmediata, mientras que los instrumentos de performance de presión (altímetro, anemómetro, variómetro) van ligeramente retrasados respecto a los cambios en la actitud y en la potencia.

En el vuelo por instrumentos, el piloto debe dividir la atención entre el horizonte artificial, los instrumentos de performance y los instrumentos de potencia (rpm de la hélice o manifold). El horizonte artificial es el instrumento que se comprueba mayor número de veces.

La técnica de la *comprobación cruzada de instrumentos* es la siguiente:



Figura 5.20. Comprobación cruzada de instrumentos.

La mirada del piloto va del horizonte artificial a un instrumento de performance, vuelve al horizonte artificial, pasa a otro instrumento de performance, otra vez al horizonte artificial y así sucesivamente. Los instrumentos de potencia pueden interpretarse simultáneamente con los de performance.

El piloto puede cometer el error de omitir o dedicar demasiada atención a un instrumento de performance. Por ejemplo, dedicar demasiada atención en mantener una actitud de vuelo horizontal o de ascendencia y no darse cuenta de un cambio de rumbo.

El piloto, en el vuelo por instrumentos, no debe sobrepasar los 30° de alabeo. Todas las maniobras deben ser suaves, nunca bruscas.

La brújula giroscópica, debido al fenómeno de la precesión, requiere, cada 15 minutos, un reajuste con relación a la brújula magnética.

Evidentemente para el piloto IFR es una obligación estar entrenado en el manejo de los instrumentos. El piloto VFR no tiene esta obligación pero sí que debe considerarlo como una necesidad para su seguridad. No siempre encontrará unas condiciones de vuelo visual perfectas y en ocasiones se verá obligado a volar en condiciones para las que quizás no esté suficientemente preparado. Por ejemplo, en vuelos sobre el mar en las que las condiciones son VFR pero la línea divisoria entre el cielo y el mar no es distingible, o bien en vuelo en montañas con nubes, o bien en tiempo lluvioso o nevando. Si en el aeropuerto, antes de partir, comprueba que la meteorología no va a ser la adecuada, es mejor que se quede en tierra antes de aventurarse a volar en condiciones que quizás superen su capacidad y su entrenamiento y pongan en riesgo su vida (y la de los pasajeros).

Los instrumentos del avión

6

El piloto que vuela en condiciones visuales se guía por la posición del morro respecto al horizonte en las diversas fases del vuelo, echando de cuando en cuando una ojeada rápida de comprobación a los instrumentos. Lo contrario hace el alumno piloto en sus primeras horas, quiere volar por las indicaciones de los instrumentos y no presta atención a la posición del morro. Esto da lugar a un vuelo errático de ascensos y descensos debido a las características de retardo de los instrumentos de vuelo. Es importante pues, para el piloto, comprender el funcionamiento y las limitaciones de los instrumentos y de los sistemas del avión. Una comprensión clara de su funcionamiento le permite interpretar las diversas clases de información que le presentan durante las distintas fases del vuelo. Esto es primordial en condiciones IFR o en condiciones visuales marginales.

Los aviones, para poder volar en condiciones VFR, deben estar equipados como mínimo con los siguientes instrumentos: anemómetro, altímetro, brújula magnética, tacómetro, manómetro y termómetro de aceite del motor. La radio se precisa para las comunicaciones en los aeropuertos controlados (puntos de notificación y maniobras de aproximación y aterrizaje) y en los pasillos y zonas establecidos en las cartas aeronáuticas.



Figura 6.1. *Equipo mínimo de instrumentos para vuelos VFR.*

Con el fin de disminuir los errores humanos en la lectura e interpretación de los instrumentos, están normalizados varios colores:

- Verde: uso normal (velocidad normal).
- Rojo: prohibición (por ejemplo, no pasar de 300 km/h).
- Amarillo: precaución (no volar a esta velocidad en tiempo turbulento).
- Blanco: uso particular (zona de velocidades con los flaps extendidos).

6.1. INSTRUMENTOS DE VUELO

6.1.1. Anemómetro

Es uno de los instrumentos de vuelo más importantes. Indica la velocidad del avión con relación al aire. Mide la diferencia entre la presión total (estática+dinámica) dada por el tubo Pitot, colocado debajo del ala en una zona libre del remolino de la hélice, y la presión estática, proporcionada por una o dos tomas estáticas situadas en el propio tubo Pitot o en el fuselaje, en orificios rasantes con el aire de la marcha, que sirven además como referencia para otros instrumentos tales como el altímetro y el variómetro. La diferencia entre la presión total y la presión estática, medida en una cápsula aneroide, es la presión dinámica que es proporcional al cuadrado de la velocidad.

El funcionamiento del tubo Pitot está basado en el teorema de Bernoulli, que relaciona la presión, la velocidad y la altura entre los puntos situados en el seno de un flujo de corriente.

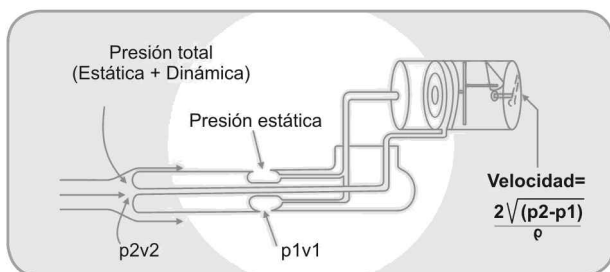


Figura 6.2. Flujo de corriente en el tubo Pitot.

En un filete (hilo) de aire que choca frontalmente contra el pico del tubo (punto 2) con sobrepresión p_2 y velocidad $v_2 = 0$, y pasa frente al orificio B (punto 1) a la misma altura que el pico del tubo (punto 2), con una depresión p_1 y una velocidad v_1 , existe la relación:

$$P_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = P_2 \quad \text{de donde} \quad v_1 = \sqrt{\frac{2 * (P_2 - P_1)}{\rho}}$$

El tubo Pitot dispone de un pequeño orificio de drenaje para eliminar las gotitas de agua o las partículas que puedan entrar en su interior al volar en todo tipo de condiciones atmosféricas (humos, polvo, cenizas volcánicas, incendios, etc.). Los aviones preparados para volar en condiciones de engelamiento, poseen una resistencia eléctrica de calefacción para fundir el hielo que pueda formarse durante el vuelo.

Las interrupciones y bloqueos del sistema formado por el tubo Pitot y las tomas estáticas comportan lecturas erráticas y no fiables de la velocidad.

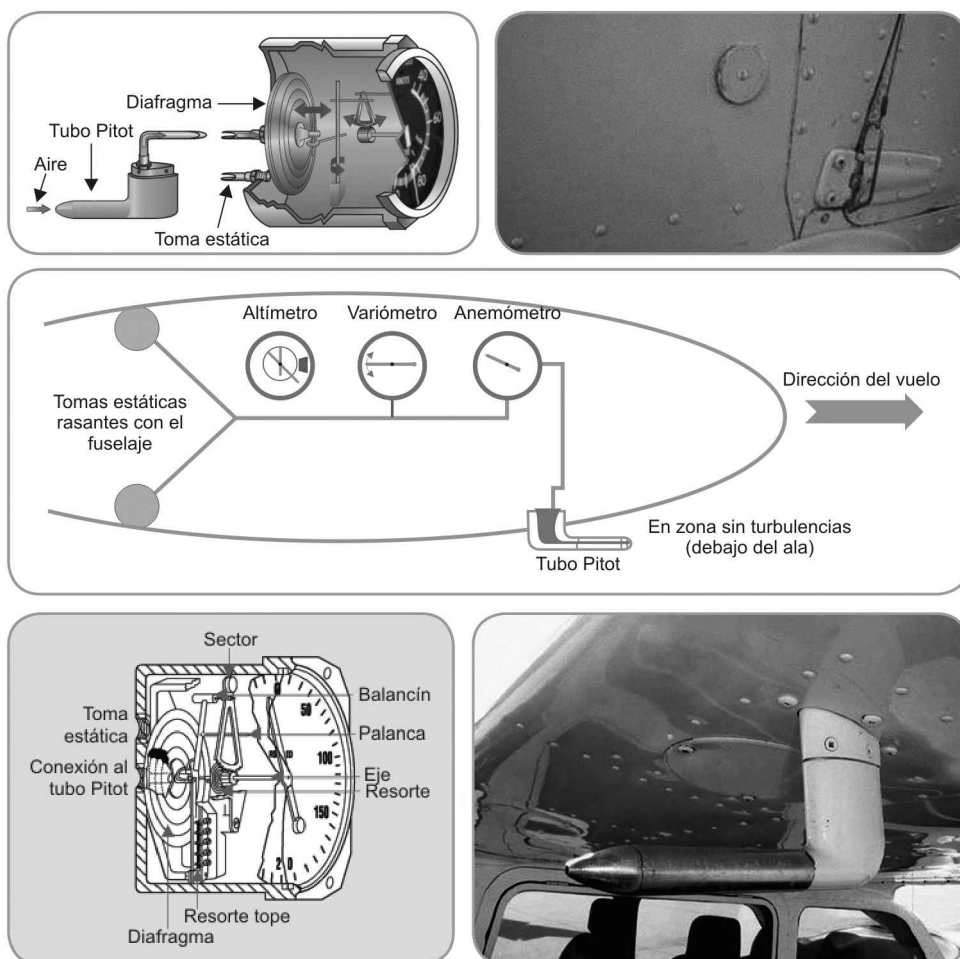


Figura 6.3. Sistema del tubo Pitot.

Un bloqueo en el tubo Pitot se debe normalmente a que el piloto ha olvidado sacar la funda de protección.

Si el bloqueo ocurre en las tomas estáticas, quedan afectados además el altímetro y el variómetro. Este bloqueo es típico de un avión que haya estado a la intemperie y bas-

tante tiempo sin volar y en un entorno montañoso. En las tomas estáticas se habrán introducido insectos y pequeños animales que las obturan. También se dan casos en tiempo ventoso con lluvia casi horizontal, en los que las gotas de agua penetran en los orificios estáticos y los bloquean hasta tanto no pase el tiempo suficiente para que el agua que ha entrado se evapore. Por suerte los aviones tienen normalmente dos tomas estáticas en paralelo, una a cada lado del avión, y es más improbable que se obturen las dos a la vez.

Se recomienda al piloto vigilar la velocidad en la carrera de despegue por si ve que la aguja del anemómetro no se mueve, indicación de que las tomas están bloqueadas. Si este es el caso tendrá que tomar la decisión de sacar el gas y frenar, si dispone de espacio en la pista, o bien continuar con la maniobra de despegue, y ya en vuelo vigilar las rpm del motor y la actitud del avión. Durante el vuelo dispone del avisador de pérdida y, además, su avión tiene una velocidad de crucero que es prácticamente el doble de la de pérdida. Debe solicitar autorización de la torre para aterrizar.

El aterrizaje lo va a hacer con más velocidad de entrada, recorriendo una distancia mayor de la usual, pero ya estará sobre la pista y a salvo con una anécdota real para explicar a sus amigos pilotos.

Algunos aviones disponen de tomas estáticas alternativas que pueden conmutarse en vuelo. Una toma estática de emergencia puede conseguirse rompiendo el cristal de uno de los instrumentos que está conectado a las tomas estáticas (por ejemplo, el variómetro).

El vuelo en zonas nubosas con lluvia helada puede provocar la formación de hielo en el tubo Pitot y volverlo inoperativo. La eliminación del hielo y la prevención de engelamiento se logran con resistencias eléctricas de calentamiento accionadas desde la cabina por el piloto mediante un interruptor.

El valor de la densidad depende de la altitud (es decir, de la presión) y de la temperatura. Se toma un valor fijo de la densidad, el de la *atmósfera tipo* a nivel del mar, $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$, y el anemómetro se gradúa para este valor, señalando directamente la llamada *velocidad indicada* (IAS: *Indicated Airspeed*) del avión respecto al aire. Al ascender, como disminuye la densidad del aire, es necesario que el avión tenga una mayor velocidad real para tener la misma diferencia de presiones $p_2 - p_1$ y por lo tanto la misma velocidad indicada. El mismo efecto ocurre si aumenta la temperatura, lo que comporta también una menor densidad del aire.

Las maniobras de vuelo que efectúa el avión, combinado con la longitud y trazado de los tubos que comunican las tomas estáticas con el anemómetro, el variómetro y el altímetro, y con el conducto que une el tubo Pitot con el anemómetro, producen errores en las indicaciones de los instrumentos. Afortunadamente estos errores se repiten para el mismo modelo de avión. La corrección de estos errores dada en el manual del fabricante del avión, proporciona la llamada *velocidad calibrada* o *rectificada* (CAS/RAS).

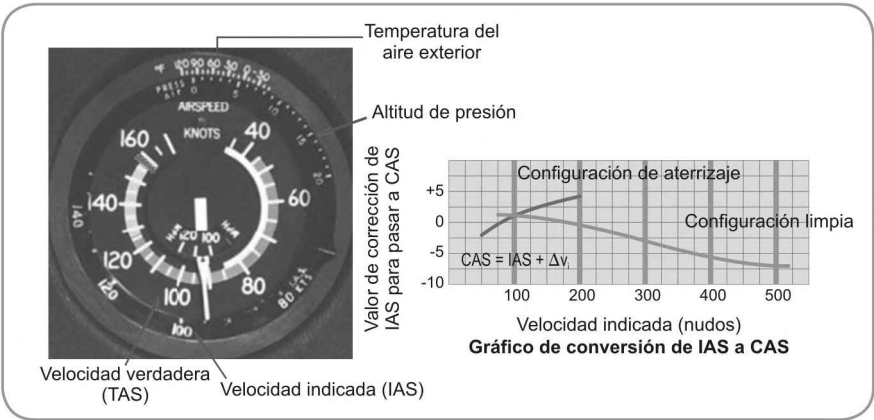


Figura 6.4. Conversión de IAS a CAS y anemómetro ajustado a la TAS.

En los aviones muy rápidos volando a más de 250 nudos el aire se comprime dentro del tubo Pitot dando lecturas erróneas siempre más altas que el valor real. El error es máximo para velocidades comprendidas entre 0,96 y 1 MACH. La velocidad correspondiente es la *velocidad relativa equivalente* (EAS: *Equivalent Airspeed*) que es la velocidad calibrada (CAS) corregida con relación a la compresibilidad del aire. En aviación ligera, las velocidades calibrada o rectificada (CAS/RAS) y la relativa equivalente (EAS) son prácticamente iguales.

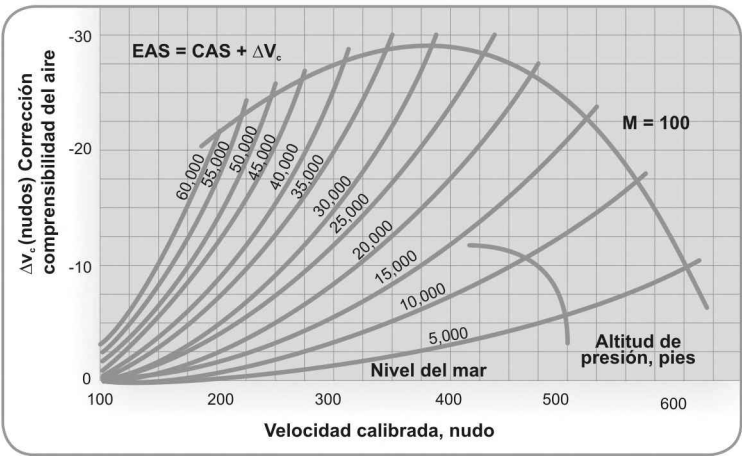


Figura 6.5. Velocidad relativa equivalente (EAS).

La *velocidad verdadera* (TAS: *True Airspeed*) es la equivalente (EAS) corregida con relación a la presión y la temperatura (y por lo tanto con relación a la densidad). Es indudable que el anemómetro no puede medir directamente la velocidad respecto al suelo, ya que esta dependerá del viento, que puede cambiar a lo largo de la ruta.

El calculador de vuelo E6B puede utilizarse para calcular la TAS a través de la IAS. También se puede realizar un cálculo aproximado añadiendo un 2% a la IAS por cada 1.000 pies de altitud de la aeronave. Por ejemplo, si la velocidad indicada (IAS) es de 120 nudos y el avión está a 10.000 pies, la velocidad verdadera (TAS) será aproximadamente de: $120 + 120 * 0,02 * 10 = 144$ nudos.

Algunos anemómetros (Figura 6.4) disponen de una escala de ajuste que permiten al piloto ajustar el instrumento para la temperatura exterior verdadera y la altura de presión (altura indicada por el altímetro cuando se escoge 1.013,2 mb o 24,7 " Hg en la ventana de Kolsman).

La *velocidad sobre el suelo* (GS: *Ground Speed*) es la verdadera TAS corregida con relación al viento.

En el anemómetro están marcadas distintas velocidades:

- La *velocidad que nunca ha de sobrepasarse* (V_{NE} : *never-exceed speed*) por problemas estructurales, está marcada con un arco o *raya roja* en el anemómetro.
- Las *velocidades de operación normal* del avión están indicadas con un arco *verde*. El extremo inferior del arco verde es la velocidad de pérdida con el avión limpio, es decir, con los flaps y el tren recogidos.



Figura 6.6. Velocidades en el anemómetro.

- Existe un arco de color *amarillo* que representa las *velocidades* que en caso de ráfagas, tiempo turbulento, podrían provocar *daños estructurales* en el avión.

Por lo tanto, de presentarse estas condiciones, no debe volarse con la aguja del anemómetro dentro de este arco.

- Un arco de color *blanco* indica *el margen normal de operación con los flaps extendidos* y su extremo inferior es la velocidad de pérdida correspondiente.

El anemómetro permite leer las velocidades operativas del avión:

- **V_x** (*speed for best angle of climb*): velocidad de ángulo óptimo de ascenso con la que se gana la máxima altitud por unidad de distancia horizontal. Es la recomendada para sobrevolar obstáculos inmediatamente después del despegue.
- **V_y** (*speed for best rate of climb*): velocidad óptima de ascenso con la que se gana la máxima altitud por unidad de tiempo. Permite ganar altura rápidamente (máximo de lectura del variómetro).
- **V_a** (*design maneuvering speed*): velocidad de maniobra. Es la velocidad máxima a la que se puede actuar sobre los mandos sin provocar daños estructurales. Es la recomendada para volar en aire con turbulencias. En otras palabras, es la velocidad de pérdida sometiendo el avión a la máxima aceleración legal (fuerza g) y por lo tanto es la máxima velocidad a la que entradas abruptas de los mandos no harán que el avión exceda de su límite de g (factor de carga). En aviación ligera estos límites son de +3,8 g a -1,5 g y con un factor de seguridad adicional de 1,5 pasan a +5,7 g y -2,25 g.
- **V_{no}** (*velocity of normal operation*): velocidad de operación normal conocida también por velocidad máxima estructural de crucero en condiciones de turbulencia. En el anemómetro está marcada al final del arco verde.
- **V_{ne}** (*never exceed speed*): velocidad máxima operativa que no debe excederse, incluso en aire en calma, por el peligro de fatigar gravemente la estructura de la aeronave.
- **V_{fe}** (*maximum flap extended speed*): velocidad máxima con los flaps extendidos.
- **V_{so}** (*stall speed in landing configuration*): velocidad de pérdida en configuración de aterrizaje (flaps y tren extendidos).
- **V_s** (*stall speed*): velocidad de pérdida con los flaps y el tren de aterrizaje retraídos.
- **V₁** (*critical engine failure recognition speed*): velocidad de decisión o velocidad mínima en el despegue que sigue al fallo de un motor y que permite al piloto despegar con los motores restantes. También es la máxima velocidad en el despegue en la que es posible parar la aeronave en la pista ante un fallo de motor.

- V_R (*rotation speed*): velocidad de rotación en la que se levanta el tren delantero con el propósito de determinar la longitud requerida para el despegue. Debe ser mayor o igual que V_1 .
- V_2 (*takeoff safety speed*): velocidad de seguridad de despegue utilizada como velocidad de ascenso en caso de fallo de motor en la subida después del despegue.

La Tabla 6.1 da velocidades de interés para un avión de tipo medio:

Tabla 6.1. *Vuelo de crucero para la máxima velocidad, distancia o autonomía.*
Ejemplo: avión de tipo medio con V pérdida de 83 km/h (45 nudos)
y V máxima en vuelo horizontal de 230 km/h (125 nudos).

Crucero	=	100 nudos
Crucero económico	=	95 nudos
Mayor distancia	=	77 nudos
Mayor autonomía	=	54 nudos
Maniobra con turbulencias	=	90 nudos
Óptimo tiempo de subida	=	76 nudos a nivel del mar y 65 nudos de 5.000 a 10.000 pies
Óptima pendiente de subida	=	56 nudos
Planeo de menor pendiente	=	75 nudos
Planeo de menor descenso	=	52 nudos

6.1.2. Altímetro

El altímetro es un instrumento muy importante que indica la altura del avión en pies o en metros. Consiste en una o varias cápsulas aneroides calibradas, en cuyo interior se ha hecho el vacío, y que se expansionan o contraen, de acuerdo con la presión de la atmósfera exterior, captada a través de las tomas estáticas.

El altímetro incorpora una escala barométrica en la ventanilla de Kolsman, y por medio de un botón de reglaje, puede ajustarse a la presión barométrica local a nivel del mar (QNH: *Nautical Height*), para tener así la altura sobre el nivel medio del mar en la zona donde está situado el avión. Ajustando el altímetro a cero en el aeropuerto, se obtendrá en vuelo la altura con relación al campo de aviación, llamada QFE (*Field Elevation*). Un diálogo típico entre la torre de control y el avión es:

- Echo Charlie Golf Foxtrot Oscar altimeter one zero ten (EC-GFO altímetro 1.010 milibares).

O bien:

- Echo Charlie Golf Foxtrot Oscar altimeter two niner niner two (EC-GFO altímetro 29,92 pulgadas mercurio).

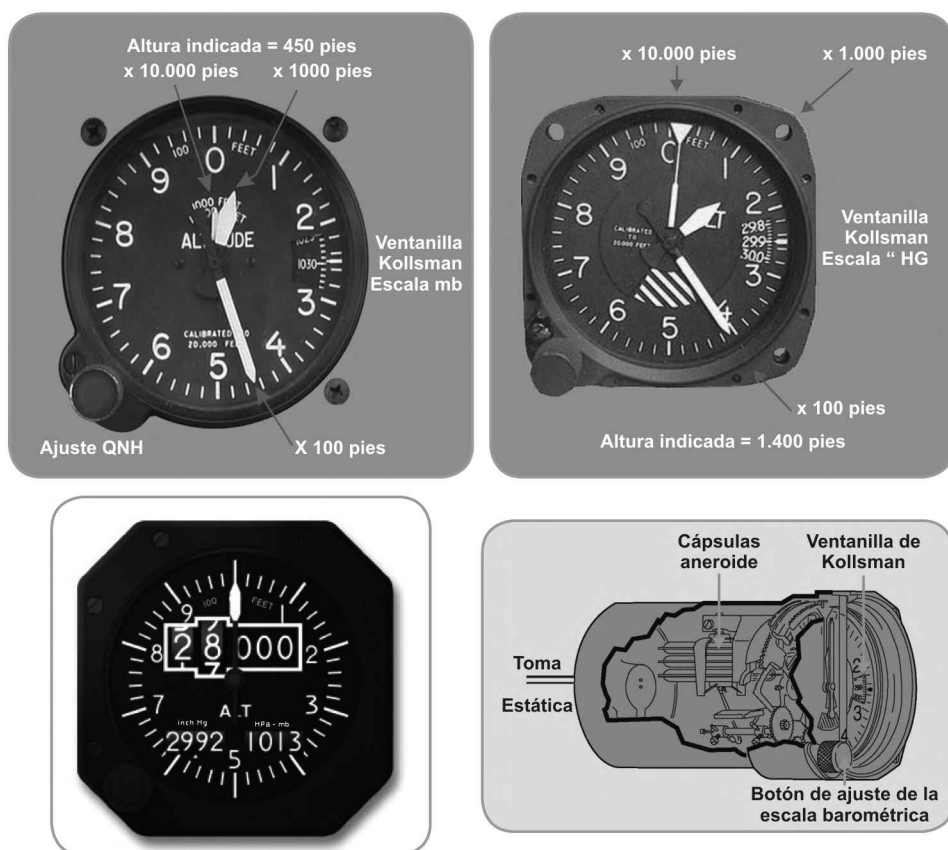


Figura 6.7. Altimetro.

El altímetro de tres agujas señala con la aguja más pequeña decenas de millares de pies, con la aguja mediana, miles de pies y con la más grande cientos de pies. Algunos altímetros disponen de compensación de temperatura de elemento bimetálico y de un vibrador que hace mínimo el rozamiento y aumenta la precisión. Equivale al movimiento reflejo del piloto acostumbrado a los indicadores mecánicos de aguja que da golpecitos con los dedos en el dial del instrumento para asegurar que la aguja no esté frenada por rozamientos del mecanismo.

El altímetro electrónico (EFIS: *Electronic Flight Instrument Systems*) emplea sensores electrónicos de estado sólido y software que convierte la presión a voltaje.

Las variaciones de la presión atmosférica pueden dar lugar a que aviones procedentes de diversos puntos entren en colisión a pesar de que sus altímetros, ajustados al valor del QNH de su aeropuerto de salida, señalen altitudes diferentes. Para evitarlo, a partir de una determinada altura llamada nivel de transición, se vuela por niveles que son las indicaciones del altímetro correspondientes a la presión estándar de 1.013,2 milibares. Por ejemplo, el nivel 50 corresponde a 5.000 pies.

De este modo, los aviones mantienen una separación vertical determinada, aunque sus altímetros no indiquen la altitud real. Cuando el avión llega al aeropuerto de destino, el piloto pide el valor de la presión a nivel del mar (QNH) y ajusta el altímetro a este valor.

Las unidades de altitud que señala el altímetro están de acuerdo con la atmósfera normal o tipo internacional (ISA: *International Standard Atmosphere*).

Presión a nivel del mar = 1.013,2 mb = 29,92 « Hg = 760 mm Hg

Temperatura al nivel del mar = + 15 °C

Gradiente vertical de temperatura:

En atmósfera normal = disminuye en 2 °C/1.000 pies (6,5 °C/km)

En atmósfera seca = disminuye en 1 °C/1.000 pies

En atmósfera húmeda = disminuye en 3 °C/1.000 pies

Equivalencia entre la presión y la altura:

1 mb = 30 pies = 9 m

1" Hg = 1.000 pies

1 m = 3,28 pies

Densidad del aire atmosférico a nivel del mar = 1,225 gr/m

Hay diferentes tipos de altitudes:

- Altitud indicada (IA: *Indicated Altitude*): es la lectura directa del altímetro habiendo ajustado la presión local a nivel del mar (QNH) en la ventanilla de Kolsman.
- Altitud calibrada (CA: *Calibrated Altitude*): es la lectura del altímetro IA, corregida por el error del instrumento y de la instalación y/o posición de la toma estática.
- Altitud verdadera (TA: *True Altitude*): es la altitud sobre el nivel del mar. La altitud verdadera es igual a la altitud indicada cuando las condiciones de presión y temperatura corresponden a la atmósfera estándar. Ajustando en el aeropuerto, la presión local a nivel del mar (QNH) en la ventanilla de Kolsman, se tendrá la elevación del campo. Si el piloto mantiene una altitud constante en el altímetro irá siguiendo una superficie isobárica cuya altura sobre el nivel del mar (AMSL: *Above Mean Sea Level*) variará de acuerdo con las condiciones atmosféricas.
- Altitud absoluta (AA: *Absolute Altitude*): es la diferencia entre la altitud verdadera TA, y la elevación del terreno. Es la que mide el radioaltímetro desde el avión sobre el terreno (AGL: *Above Ground Level*).

- **Altitud de presión (PA: *Pressure Altitude*):** es la altitud indicada IA, ajustando el altímetro a 1.013,2 mb (29,92") en la ventanilla de Kolsman. Los aviones que vuelan sobre el nivel de transición refieren las lecturas de los altímetros a niveles de vuelo FL (*Flight Level*). Desde el punto de vista de seguridad, es de interés saber que un avión que mantiene un nivel de vuelo determinado y que se dirige a un área de bajas presiones va a descender.

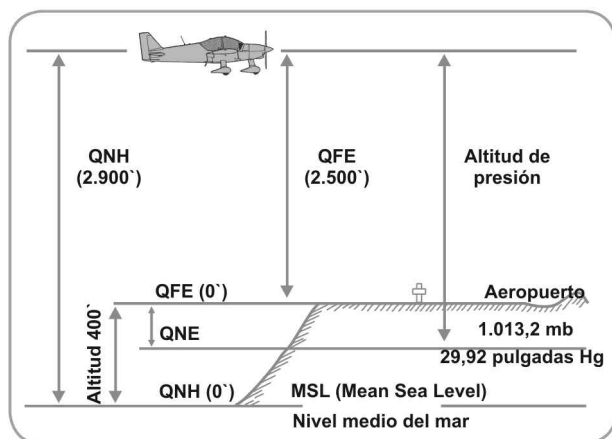


Figura 6.8. Tipos de altitudes y presiones.

- **Altitud de densidad (DA: *Density Altitude*):** es la altitud que marcaría el altímetro si el avión volara dentro de la atmósfera estándar. Como el avión no dispone de instrumentos que midan directamente la densidad del aire, se usan gráficos y calculadores de vuelo en los que se introducen los valores de la *altitud de presión* PA (1.013,2 mb en la ventanilla de Kolsman) y de la temperatura exterior del aire medida con un termómetro exterior instalado en el avión. Así pues, la altitud de presión y la temperatura exterior permiten al piloto determinar la altitud de densidad.
- El conocimiento de la altitud de densidad permite determinar las actuaciones (performances) del avión en un aeropuerto determinado, basándose en la información facilitada por el fabricante, quien da las actuaciones del avión con referencia a la atmósfera estándar.

Por ejemplo, con una altitud de presión de 2.000 pies y una temperatura exterior de 30 °C se obtiene una altitud de densidad de 4.200 pies.

El piloto puede comprobar la lectura del altímetro, ajustando en tierra, mediante el botón de reglaje, las agujas indicadoras para que señalen la elevación del campo, y comparando la lectura de la ventanilla con el QNH (*Normal Height*) del lugar, dado por radio por la torre del aeropuerto. Si la diferencia es superior a unos 2,7 mb (0,079") (± 75 pies) es necesario reemplazar el instrumento.

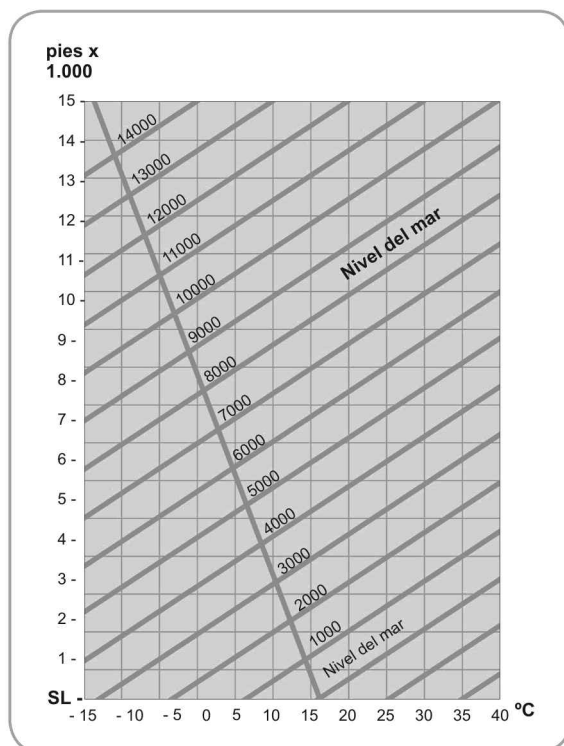


Figura 6.9. Gráfico de altitud de densidad.

El código de identificación Q proviene del tiempo del telégrafo cuando existían unas 200 expresiones de 3 letras que significaban una frase. Algunas todavía son empleadas por los amateurs de morse y radio. En aviación se utilizan los siguientes:

- **QNH:** presión a nivel del mar (msl: *Mean Sea Level*) determinada midiendo la presión barométrica de una columna imaginaria de aire seco que parte de la estación hasta el nivel del mar. Si el avión está en el aeropuerto se ajusta el altímetro de modo que la aguja marque la elevación del campo y la lectura de la ventanilla de Kollsman dará el QNH.
- **QFE:** presión barométrica en la estación o en el punto de referencia (*datum point*) del aeródromo. Si el QFE se sitúa en el altímetro con el avión aparcado en el aeropuerto, la aguja del altímetro debe marcar un valor próximo a cero.
- **QNE:** altitud del campo cuando se ajusta el altímetro en 1.013,2 mb (29,9 “ Hg). Con la regla aproximada de que hasta 10.000 pies la presión varía 1 mb (hPa) cada 30 pies (30 pies/mbar), el QNE puede obtenerse mediante la fórmula:

$$QNE = (1.013,2 - QNH) \cdot 30$$

De este modo, con QNH = 960 y en un campo elevado 1.000 pies sobre el nivel del mar, la lectura en el aterrizaje será de:

$$QNE = (1.013,2 - 960) * 30 + 1.000 = 2.596 \text{ pies}$$

El altímetro tiene un retardo inherente a su propia construcción. La longitud de las tomas estáticas y su trazado dentro de la célula del avión da lugar a un retardo en la respuesta del aparato a los cambios de altura. De aquí, que la persona que lleva los mandos de una avioneta por primera vez, suele pilotar de forma errática al intentar seguir directamente las indicaciones del altímetro.

Si las tomas estáticas se bloquean por agua o hielo o insectos o por suciedad se producen indicaciones erráticas en el altímetro, así como en los demás instrumentos que se conectan a las tomas estáticas (anemómetro y variómetro).

El *altímetro de precisión* es el *altímetro codificador de altitud* que facilita, a través de un servo codificador, la altitud codificada en fracciones de 100 pies para su transmisión automática cuando el *transponder* (respondedor) está en *modo C* y el avión es interrogado por el radar secundario de un aeropuerto. Permite que el controlador pueda separar el tráfico. En ocasiones el controlador pide la altura de vuelo al piloto y si no coincide con la que ve en la pantalla, avisa al piloto dándole el QNH actual de la zona, para que ajuste el altímetro. La presión de referencia del transponder es 1.013,2 hPa (mb), que es la misma que la codificada por el altímetro, de modo que el transponder transmite la altitud de presión del avión.

Existe un código (ICAO) para la transmisión digital de la altitud que funciona con nueve dígitos, indicando el 1 un impulso presente y el 0 la no presencia de impulso. Por ejemplo, las altitudes sucesivas comprendidas entre 2.550 y 2.750 pies son transmitidas respectivamente con los códigos:

Altitud entre 2.550 y 2.650 pies = 0 0 0 1 0 0 0 1 1

Altitud entre 2.650 y 2.750 pies = 0 0 0 1 0 0 0 0 1

6.1.3. Variómetro

Es un indicador de velocidad vertical. Consiste en una membrana sensible o diafragma situada dentro de una caja que está conectada a la toma estática del tubo Pitot o a la estática del avión. De este modo, la presión en el exterior de la membrana varía inmediatamente con los cambios en la altura. El interior de la membrana también está conectado a la toma estática pero a través de un difusor o tubo capilar calibrado que está conectado a una capacidad exterior aislada térmicamente (termo), para evitar que los cambios en la temperatura puedan afectar la medida. Ante un ascenso continuado se mantiene una diferencia de presiones a ambos lados del diafragma, y el sistema funciona con un retardo (que puede llegar a los 5-9 segundos) entre la presión estática externa y la presión interna de la membrana. El movimiento de

la membrana se amplifica con mecanismos de palancas y engranajes, y produce el movimiento de la aguja. La escala está graduada en divisiones de cien en cien pies en ascenso y en descenso llegando hasta 2.000 pies/minuto en aviones ligeros y hasta 6.000 pies/minuto en aviones comerciales.



Figura 6.10. Variómetro.

La Tabla 6.2 puede ser de interés para el piloto. Proporciona la velocidad vertical de ascenso o de descenso según el ángulo y la velocidad del avión.

Tabla 6.2. Velocidad vertical de ascenso/descenso.

Velocidad vertical (fpm – pies por minuto)					
Velocidad horizontal en nudos					
Ángulo	60	75	90	105	120
3°	320	400	480	555	635
4°	425	530	635	745	850
5°	530	665	795	930	1.065
6°	640	800	960	1.120	1.275
7°	745	935	1.120	1.305	1.490
8°	855	1.065	1.280	1.495	1.710
– Con un ángulo de 5° a 90 nudos la tasa de ascenso/descenso es de 795 fpm					
– Si el avión va a la velocidad de 105 nudos con una tasa de descenso de 555 fpm, el ángulo de descenso es de 3°.					

Todas las maniobras del avión que produzcan falsas presiones estáticas (virajes bruscos, movimientos de guiñada, vuelo en condiciones de turbulencia, etc.) darán lugar a errores en la indicación del variómetro. Estos errores pueden incluso ser de indicación contraria, es decir, en una maniobra de ascendencia fuerte, el variómetro primero marcará un descenso y después el ascenso. Cuando el avión vuela en aire turbulento las indicaciones del variómetro son imprecisas.

En el caso de bloqueo de la presión estática por agua, insectos o abejas, la lectura del variómetro es errática, así como la del altímetro y del anemómetro.

6.1.4. Brújula magnética

Consiste en un imán de movimiento libre que tiene la propiedad de orientarse siguiendo las líneas de fuerza magnética que van del Polo Norte magnético al Polo Sur magnético. Indica el rumbo del avión con relación al norte magnético.

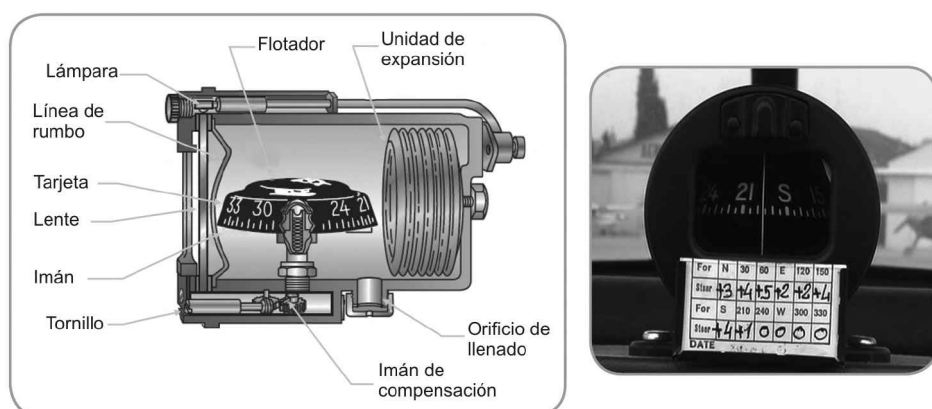


Figura 6.11. *Brújula magnética.*

La brújula magnética típica utilizada en aviación consiste en un depósito hermético o cuba donde se encuentra la rosa orientable graduada de 0° a 360° que se apoya, mediante un cojinete de piedra preciosa, sobre la punta de un estilo en posición vertical. El c.d.g. de la rosa de rumbos está por debajo de la punta del estilo, con lo que la estabilidad queda satisfecha y además el cojinete proporciona un mínimo rozamiento al conjunto. Dentro de la cuba hay un líquido (tricloroetileno o petróleo) que reduce el peso de la rosa y amortigua las vibraciones.

En el hemisferio norte, en los virajes iniciados desde el rumbo norte, la brújula da una indicación de viraje en la dirección opuesta pero después se atrasa, desapareciendo el error cuando el avión alcanza el rumbo este u oeste. Al revés, partiendo de rumbo este u oeste hacia el norte, inicialmente no hay error pero al aproximarse a rumbo norte el retraso de la brújula aumenta.

Si el giro se efectúa desde el rumbo sur, la brújula da inicialmente una indicación correcta del rumbo, pero después se adelanta al rumbo actual. El error desaparece al alcanzar los rumbos este u oeste. Partiendo de rumbo este u oeste hacia el sur, la brújula se mueve correctamente al inicio del viraje, pero después se adelanta a medida que alcanza el rumbo sur.

El grado de adelanto o retraso de la brújula es aproximadamente igual a la latitud en la que vuela el avión. Por ejemplo, si está en la latitud norte 40° y vira del sur al

oeste, la brújula se adelanta en $180^\circ + 40^\circ = 220^\circ$, y cuando llega a la mitad del viraje la brújula marca $180^\circ + 20^\circ = 200^\circ$, anulándose el error al alcanzar el rumbo oeste.

Por otro lado, en el hemisferio norte, en las aceleraciones (cambios de velocidad) la brújula gira hacia el norte y hacia el sur en las deceleraciones, mientras que en el hemisferio sur ocurre lo contrario. La regla mnemotécnica para recordarlo es **ANDS** (*accelerate north, decelerate south*: acelera va al norte, decelera va al sur).

Asimismo, las turbulencias en vuelo provocan remolinos del líquido de amortiguación, por lo que la brújula solo marca correctamente en vuelo recto y nivelado. Para compensar los efectos del viento, el piloto estabiliza el avión en el rumbo deseado fijando su vista en la lejanía en algún accidente visible y después vuela directo hasta este punto de referencia, repitiendo periódicamente esta maniobra.

La diferencia angular entre el norte geográfico y el norte magnético, se llama *declinación magnética* y se encuentra indicada en las cartas aeronáuticas en líneas llamadas *isogonas*, con el correspondiente valor de grados de declinación este u oeste. Para pasar del rumbo geográfico determinado en la carta de navegación geográfica al magnético que se va a usar en la brújula magnética durante el vuelo, se suman los grados de declinación oeste y se restan los del este.

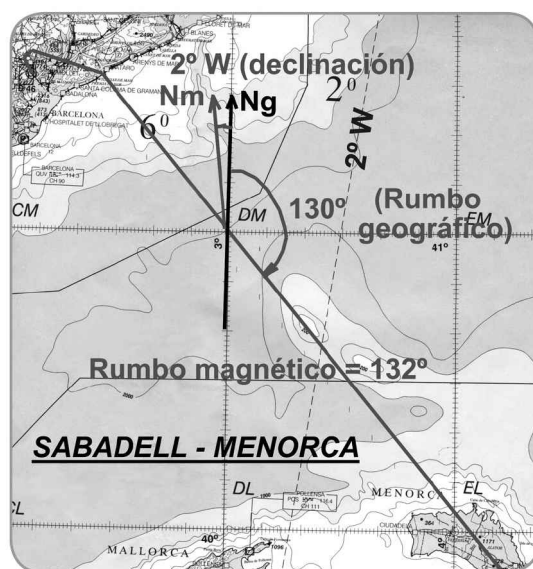


Figura 6.12. Declinación magnética.

Por ejemplo, en el vuelo del aeropuerto de Sabadell al de Menorca, una vez se abandona la costa, el piloto navegará con la brújula indicando 132° , que es la suma del rumbo geográfico de 130° más la declinación media de la zona de vuelo que estima en 2° .

Las partes metálicas magnetizadas, los equipos de radio, y los circuitos y equipos eléctricos y electrónicos fijos y portátiles que se encuentran dentro del avión, pueden afectar a la indicación de la brújula. El fabricante sitúa la brújula en la cabina en el lugar menos afectado magnéticamente (sobre el panel en su parte central a la vista del piloto y copiloto) y la ajusta con imanes de compensación situados en la base de la brújula, pero a pesar de ello existen pequeñas desviaciones que influyen en la marcación correcta del aparato y que son indicadas en una tarjeta de desvío que se incorpora a la brújula.



Figura 6.13. Desvío.

6.1.5. Instrumentos giroscópicos

Un *giróscopo* es un sólido de revolución que gira a gran velocidad (12.000 a 20.000 rpm), con su masa distribuida uniformemente alrededor del eje. Es parecido al trompo, que, una vez lanzado con un cordel arrollado, gira sobre sí mismo de forma estable durante largo tiempo.

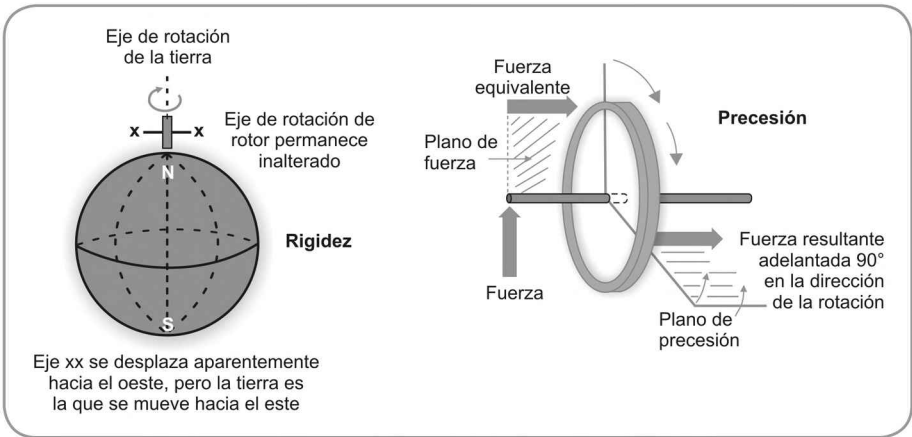


Figura 6.14. Rigidez y precesión del giróscopo.

Son ejemplos de giróscopos la rueda de una bicicleta o de una moto, una hélice, etc. Inmóviles estos cuerpos son inestables, pero en movimiento de giro a altas revoluciones son estables y poseen diversas propiedades que son útiles en aviación, en particular la *rigidez* y la *precesión*.

La *rigidez giroscópica* es la propiedad que tiene el giróscopo de mantener su plano de rotación en el espacio. Es decir, si el avión se inclina a la derecha, el eje de giro del giróscopo, en lugar de seguir la inclinación, se va a mantener inmóvil en el espacio, de tal modo que al estar unido el armazón del aparato al panel de instrumentos del avión, proporcionará en una ventana adecuada el conocimiento de la nueva posición del avión. De este modo, el piloto tiene una imagen mental de la forma en que está volando el avión en condiciones de vuelo sin visibilidad (mal tiempo, vuelo dentro de nubes, vuelo nocturno).

La *precesión giroscópica* es la respuesta del giróscopo a una fuerza de desviación. Este fenómeno da lugar a la aparición de una fuerza resultante que está desplazada 90° adelante, en la dirección de rotación del giróscopo. Durante el vuelo, las fuerzas deflectoras que aparecen y que hacen que el giróscopo precesione son los rozamientos en los cojinetes, los rozamientos en los aros de la suspensión cardan, la fuerza centrífuga en los giros, las fuerzas de aceleración y deceleración, etc.

Entre los instrumentos giroscópicos se encuentran:

- **Coordinador de viraje.** Fue uno de los primeros instrumentos giroscópicos utilizados en aviación. Señala la velocidad angular a la que vira el avión. Por ejemplo, el coordinador de *dos minutos* indica una deflexión de la anchura de la aguja cuando se vira a 3° por segundo, es decir, que el avión tarda 2 minutos en efectuar un 360° ($3^\circ \cdot 2 \cdot 60$), mientras que el coordinador de *cuatro minutos* indica una deflexión de la anchura de la aguja cuando se vira a $1\frac{1}{2}^\circ$ por segundo, es decir que el avión tarda 4 minutos en realizar un 360° ($1\frac{1}{2}^\circ \cdot 4 \cdot 60$). El primero es utilizado en avionetas mientras que el segundo se emplea en aviones comerciales de altas velocidades.

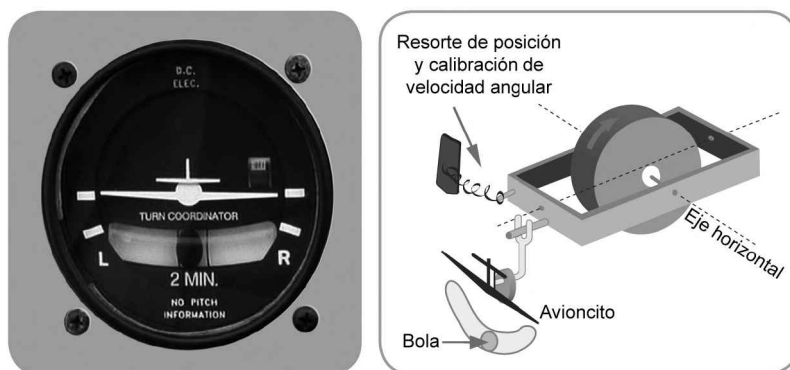


Figura 6.15. Coordinador de viraje.

El instrumento incorpora un *inclinómetro* de cristal curvado relleno de líquido que contiene una bola de acero. En vuelo horizontal, la bola tiene la tendencia de situarse en el lugar más bajo, es decir, en el centro. En un viraje coordinado la bola continúa estando en el centro.

Con el fin de tener una mayor seguridad de funcionamiento, los giróscopos son accionados con dos sistemas diferentes, bien por un motor eléctrico de corriente continua de gran velocidad alimentado por la batería del avión, o bien neumáticamente mediante una rueda con cazoletas que gira gracias al chorro de aire que entra en el sistema por el vacío creado por una bomba. El valor del vacío viene indicado en un vacuómetro y el índice debe estar en la zona verde (5" de mercurio). Si el vacío producido es escaso (menor de 4" de mercurio), el funcionamiento de los instrumentos giroscópicos no es de fiar.

- **Horizonte artificial.** Es el instrumento giroscópico más importante. Proporciona al piloto, mediante un avioncito y un horizonte, una referencia del horizonte real y de la posición de su avión, lo que le permite volar sin visibilidad y sin peligro. La aparición de este instrumento fue un paso importante en el desarrollo de la aviación.

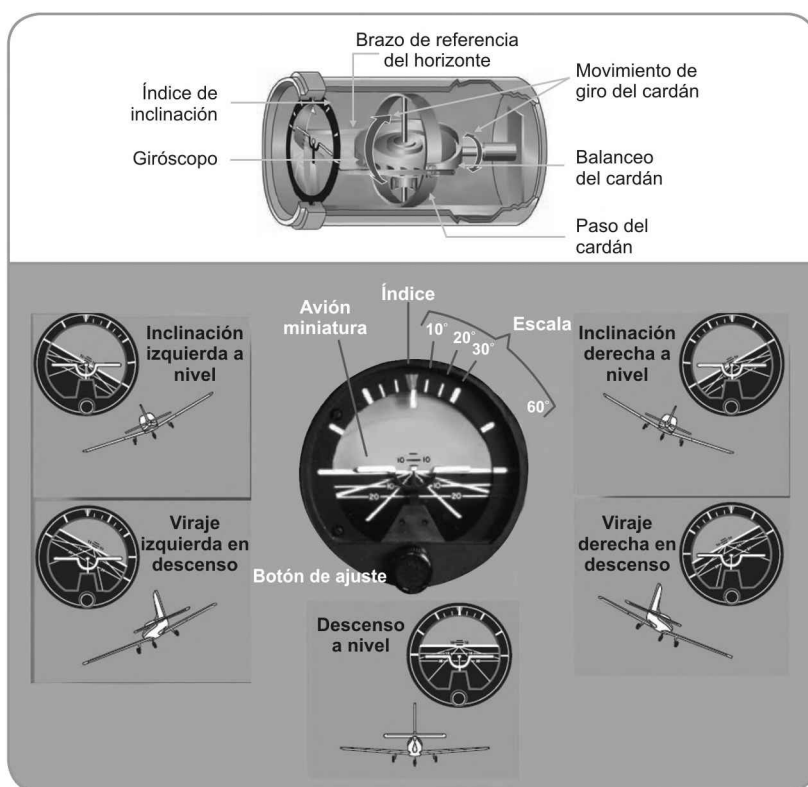


Figura 6.16. Horizonte artificial.

El pequeño avión del instrumento puede subirse o bajarse mediante un botón. El piloto lo ajusta situándolo sobre la barra del horizonte artificial cuando está en vuelo de crucero recto y nivelado. De este modo, el avioncito representará su avión ya que se ha ajustado para las condiciones de carga y combustible que transporta.

Normalmente el horizonte artificial es accionado por aire, mientras que el coordinador de virajes es actuado por un motor eléctrico.

- **Direccional giroscópico o brújula giroscópica.** El direccional giroscópico dispone de una rosa de rumbos o una carta direccional y proporciona una dirección de referencia estabilizada que puede ser utilizada para mantener un rumbo. No es influido por los virajes, ni por las aceleraciones y deceleraciones, ni oscila en tiempo turbulento como la brújula magnética.

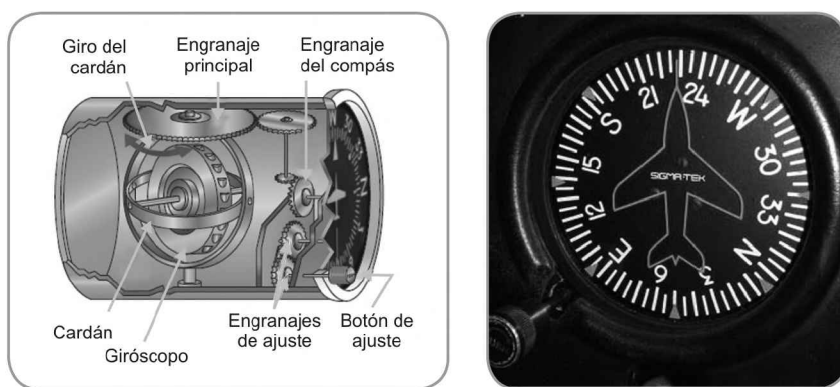


Figura 6.17. *Giróscopo direccional.*

Está basado en el principio de rigidez en el espacio del giróscopo. El rotor gira en un plano vertical y acopla la tarjeta de la rosa de rumbos, por lo que al moverse el avión y la tarjeta con relación al plano vertical, esta proporciona el rumbo del avión. La precesión inherente del giróscopo debida a los rozamientos, que aumentan si los rodamientos están gastados o tienen falta de lubricación, obliga a repetir cada cierto tiempo (unos 15 minutos) el ajuste del aparato comparándolo con la brújula magnética en vuelo recto y nivelado. Se considera que una precesión de 3° cada 15 minutos o de 15° por hora de operación, es la máxima permisible.

Algunos direccionales reciben una referencia del norte magnético a través de un transmisor giróscopo esclavo y en general no necesitan ajustes. Asimismo, *las brújulas de indicación remota* son especialmente útiles porque reducen al mínimo el error de la brújula magnética en cabina debido a las masas y campos magnéticos existentes. Si se estabilizan sus lecturas corrigiendo el error

de viraje y el de aceleración y deceleración, mediante giróscopos llamados esclavos (*slave*) se denominan *telebrújulas estabilizadas giroscópicamente*.

El direccional tiene límites de inclinación y de paso que en aviación ligera son aproximadamente de 55° de paso y 55° de inclinación. Si cualquiera de estos límites se excede, el instrumento voltea y ya no da la indicación correcta hasta que se reajusta con el botón de la corona de fijación. La mayor parte de los instrumentos actuales se diseñan de tal manera que nunca voltean.

- **Detección de viento cortante (*windshear*).** Los vientos cortantes consisten en corrientes verticales descendentes de corta duración que parten de una nube y se esparcen hacia el suelo, golpeando frontalmente las alas de un avión. Esto causa un aumento súbito de velocidad del aire y un salto ascensional del avión. Si el piloto no lo identifica como viento cortante (*windshear*), reacciona reduciendo la potencia, y al terminar de pasar la zona, el viento empieza a soplar de cola reduciendo la velocidad del aire, con lo que el avión al volar con potencia reducida puede perder súbitamente velocidad y altura. Y aunque los pilotos reaccionen dando más potencia, si el viento cortante es lo suficientemente potente, el avión se estrellará contra el suelo. El fenómeno es muy peligroso en la fase de aterrizaje de la aeronave.



Figura 6.18. Viento cortante (*windshear*).

El sistema detector de viento cortante (*windshear*) trabaja con informaciones procedentes de la velocidad, actitud, aceleraciones, sensores de ángulo de ataque, etc., con el objeto de determinar si esa información es normal para la condición de vuelo presente. Al encontrar alguna discrepancia, activa el sistema y produce alarmas visuales y auditivas que obligan al piloto a tomar acciones correctivas de inmediato. Los sistemas utilizados se basan en el radar, el doppler y el infrarrojo.

6.2. INSTRUMENTOS DEL MOTOR

En el panel de instrumentos se encuentran situados los aparatos que señalan al piloto el funcionamiento del motor y los sistemas relacionados (sistema de lubricación, sistema eléctrico).

Los instrumentos son parecidos a los de un coche, con la salvedad de que no hay pedales en los pies para el gas, sino varillas o palancas en el panel, y que en lugar del estrangulador (*choke*), que podría fallar, para el arranque, se utiliza una bomba manual (*primer*) o una bomba de gasolina eléctrica. Se dispone de *mando de mezcla aire-gasolina* ya que el motor del avión debe funcionar a alturas de vuelo variables.

Por otro lado, con el fin de conseguir un funcionamiento del encendido del motor que sea independiente del sistema eléctrico de la aeronave, para así tener una seguridad óptima, se utilizan dos magnetos independientes accionadas por el motor y que excitan, cada una, una bujía en cada cilindro.

En el panel de control existe una llave de encendido de varias posiciones:

OFF = Encendido desconectado – Las dos magnetos conectadas a tierra (masa).

R = Magneto derecha (*right*) conectada al encendido –
Magneto izquierda conectada a tierra (masa).

L = Magneto izquierda (*left*) conectada al encendido –
Magneto derecha está conectada a tierra (masa).

L + R = Conexión simultánea de los dos sistemas de encendido
(Both) magnetos L y R – Operación normal.

Start = Conexión al motor de arranque y a la batería para la puesta en marcha del motor.



Figura 6.19. Llave de magnetos.

Si bien el motor de un avión funcionando a régimen es muy seguro, su puesta en marcha es más difícil que en un coche, ya que no dispone de estrangulador (*choke*) y usa o bien una pequeña bomba manual (*primer*) o una bomba eléctrica para inundar

el carburador. Por otro lado, el motor refrigerado por aire tiene unos ajustes pistón-cilindro más finos que en un motor refrigerado por agua, y el arranque presenta una gran dificultad porque el aceite lubricante frío y espeso frena el movimiento de los pistones. La batería que tiene el menor peso posible, se descarga rápidamente ante intentos repetidos y fallidos de puesta en marcha.

Inmediatamente después del arranque, el piloto vigila la presión de aceite que debe alcanzar sus valores normales (arco verde) en un máximo de 30 segundos. Si no es así, debe parar el motor antes de que sufra daños y buscar la causa. Después del arranque normal, desconecta la bomba eléctrica de gasolina y no la vuelve a conectar hasta poco antes del despegue. De este modo, una eventual avería de la bomba mecánica se detectará por el paro del motor durante el rodaje del avión desde el aparcamiento hasta el punto de espera de la pista en servicio. Después del despegue, el piloto desconecta la bomba eléctrica al alcanzar una altura segura. La vuelve a conectar al volar sobre terreno montañoso, entre nubes, sobre el mar y en la aproximación al aeropuerto.

Los principales mandos e instrumentos del motor son:

6.2.1. Palanca del gas

Potencia del motor.

6.2.2. Mando de calefacción del carburador

Elimina la posible formación de hielo. Durante el vuelo, e incluso en tierra, puede formarse hielo en el carburador. El mecanismo es el siguiente: por un lado, la baja presión originada en el conducto estrecho del tubo Venturi por el paso del aire a gran velocidad, evapora la gasolina y esta absorbe calor, mientras que por el otro, si se dan las condiciones atmosféricas necesarias (alta humedad y temperatura media o baja), el aire cargado de humedad aumenta su velocidad dentro del tubo Venturi, con lo que baja su temperatura.

Los dos efectos combinados originan la condensación del exceso de humedad del aire y el agua producida puede pasar a hielo por la baja temperatura, con lo que el carburador se bloquea gradualmente y el motor puede pararse. El piloto nota la formación de hielo por las vibraciones del motor que acompañan al fenómeno. Tira entonces a fondo del mando de *calefacción del carburador*, con lo que el aire entra en el carburador calentado a través del tubo de escape del motor, y este aire caliente elimina el hielo formado. Las rpm del motor que habían bajado, se recuperan a medida que el hielo se va fundiendo. En general, si se dan las condiciones adecuadas puede formarse hielo en el carburador a temperaturas del aire ambiente de -10°C a 30°C .

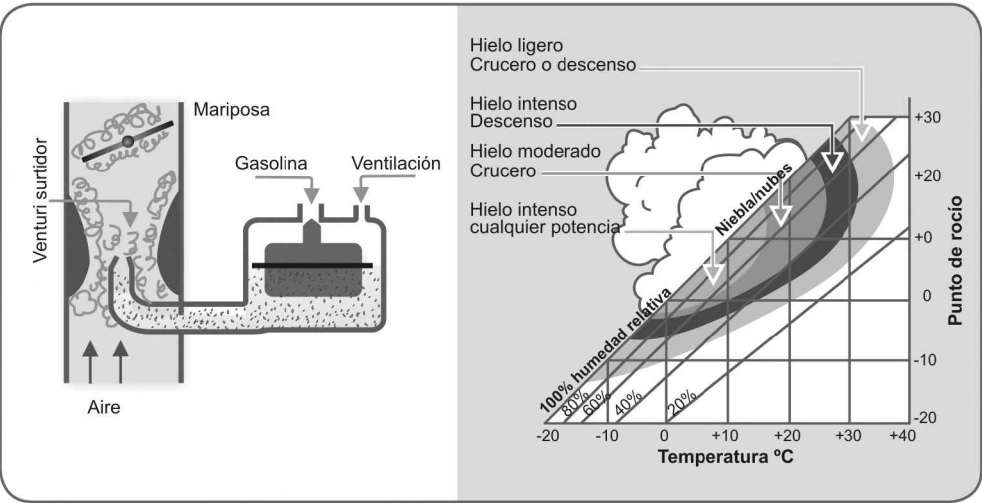


Figura 6.20. Formación de hielo en el carburador.

Los motores de inyección se ponen en marcha con mayor facilidad, distribuyen mejor el combustible y reducen el riesgo de la formación de hielo en el sistema de admisión.

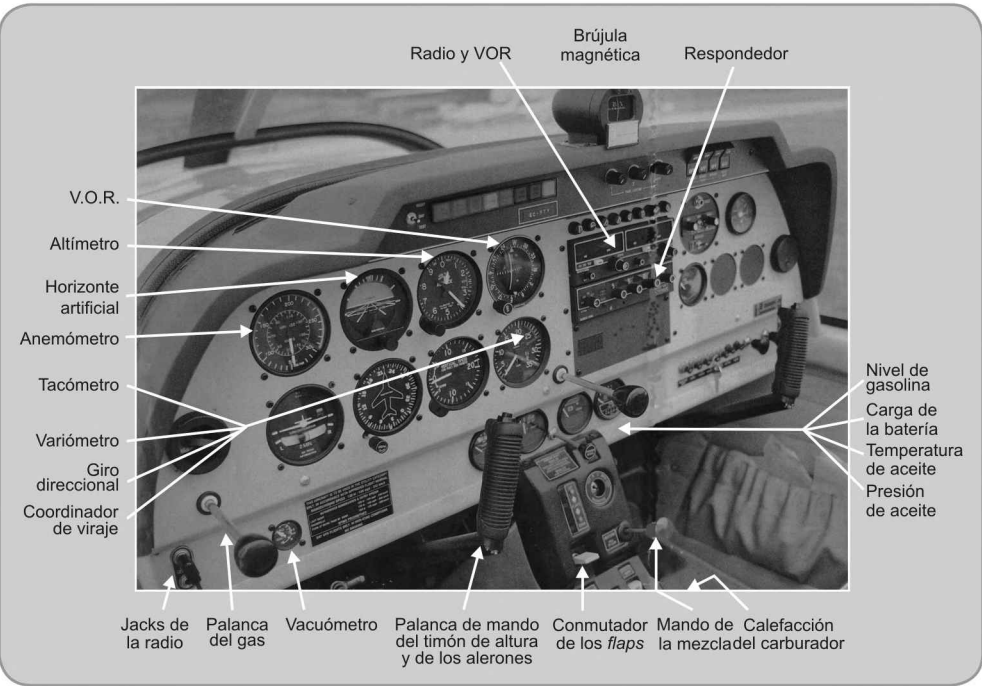


Figura 6.21. Panel típico de una avioneta. Fuente: GAVINA.

6.2.3. Mando de la mezcla aire-gasolina

Fija la cantidad de combustible que se añade al aire de entrada. En alturas elevadas, el aire es menos denso y ocupa menos volumen, por lo que debe reducirse la cantidad de combustible que entra en el carburador, para tener la mezcla combustible-aire correcta. Este proceso se llama empobrecimiento de la mezcla (*leaning*) y lo ideal es que el motor funcione con la mezcla pobre de régimen óptimo.

En la Figura 6.22 puede verse que la potencia máxima del motor se consigue con el 8% en peso del combustible con relación al aire. Un incremento del porcentaje de combustible disminuye la potencia, así como una disminución del porcentaje.

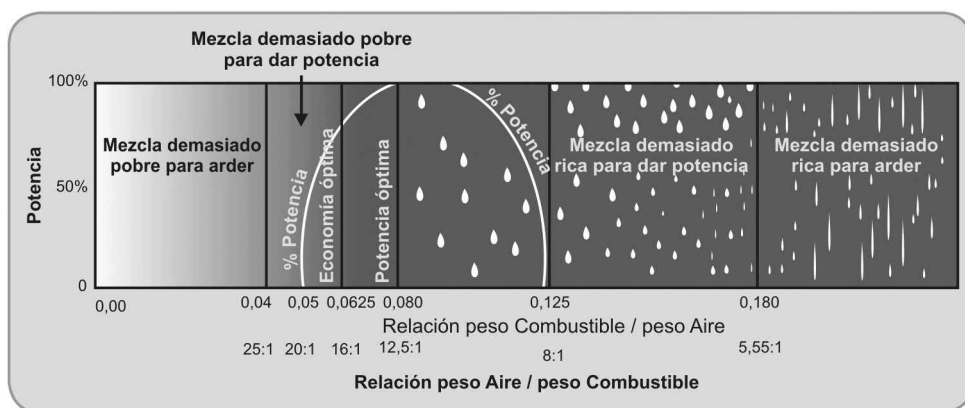


Figura 6.22. Mezcla aire-gasolina. Fuente: Pratt & Whitney.

Es de interés señalar que un empobrecimiento de la mezcla, digamos un 6,25%, a partir del punto de potencia máxima, es decir, hacia la izquierda de la figura, baja aproximadamente un 20% dicha potencia, pero permite obtener la economía óptima en forma de potencia óptima por litro (o galón) de combustible.

Desde el punto de vista práctico, el intervalo de variación de potencia del motor es del 30% en el lado pobre de la mezcla al 110% del lado de la mezcla rica y vuelta otra vez al 30% en el mismo lado rico de la mezcla (leyendo la curva de izquierda a derecha).

Se puede afirmar que en los motores de aviación general de 4 o 6 cilindros, llega a cada cilindro una mezcla diferente, ya que los conductos de admisión que van a cada cilindro después del carburador tienen pequeñas diferencias que causan una irregular distribución del aire. Por lo tanto, como el piloto tiene solamente un mando de la mezcla (palanca o tirador), en realidad está controlando la relación combustible-aire global para todos los cilindros.

En un motor típico de aviación con los mínimos instrumentos, las instrucciones a seguir para obtener la mezcla ideal durante el vuelo con ascensos y descensos a diversas alturas son las siguientes:

El ajuste de la mezcla gasolina-aire se consigue tirando gradualmente del mando de mezcla, hasta que empiezan a disminuir las rpm del motor, en cuyo momento se entra el tirador unos 3-5 mm. La variación de rpm con la posición del tirador no es lineal, es decir, que el ajuste final se logra con solo unos mm de variación de carrera. Y de hecho no se puede hacer más, el piloto solo tiene como indicadores de potencia indirectos, la palanca del gas, el tirador o palanca de la mezcla (color rojo) y el tacómetro que le indica las rpm del motor.

Otro procedimiento no recomendable es «empobrecer la mezcla tirando hacia sí de la palanca o del tirador hasta que el motor funciona con tirones de forma irregular y después enriquece la mezcla hasta que funciona redondo». Realmente un motor funciona de forma suave hasta un 30% del margen de potencia y lo único que ocurre es que se enfría excesivamente. Y aunque los motores presentan un funcionamiento ligeramente irregular en mezcla muy pobre, es debido a la desigual distribución de la mezcla combustible-aire, que es la causa de que siempre habrá un cilindro que tendrá la mezcla más pobre que los restantes, lo que dará lugar a vibraciones.

Si el avión dispone de indicador de temperatura de los gases de escape (EGT: *Exhaust Gas Temperature*) pueden darse dos casos (véase la Figura 6.23):

- Potencia superior al 75%: no empobrecer la mezcla por debajo de 815 °C (1500 °F) en el lado rico de la mezcla ya que la temperatura de la culata (CHT) puede ser superior a 215 °C.
- Potencia inferior al 75% e inferior: operar en el pico de la EGT (de este modo, la temperatura de la cabeza del cilindro (CHT) no alcanza valores peligrosos al estar fuera de la zona plana en el lado pobre de la mezcla).

El procedimiento general de empobrecimiento de la mezcla es: se tira del mando de gases hasta llegar al máximo de la temperatura de los gases de escape (EGT) y se acciona después el mando de mezcla hasta que la temperatura baja en unos 50 °C (106 °F). El régimen económico se consigue con una disminución entre 15 °C y 25 °C (32 °F y 53 °F).

En la Figura 6.23 pueden verse unas curvas de consumo de combustible del motor Continental IO-550 que permiten ajustar la potencia de una mejor forma con la condición de disponer de una sonda de temperatura en la culata del cilindro más caliente (*average cylinder head temperature*) y de un indicador de temperatura del gas de escape (*average exhaust gas temperature*, EGT).

La curva muestra, por ejemplo, que a 75 lbs/h (34 kg/h – mezcla pobre) consume 0,425 lb/CV-hora (0,19 kg/CV-h). En el intervalo de 85 a 95 lbs/h (39 a 43 kg/h) gasta menos combustible. Al llegar a 120 lbs/h (54 kg/h), el consumo pasa a ser de 0,480 lb/CV-hora (0,22 kg/CV-h). El mínimo de consumo específico corresponde al caudal de combustible de 88 lbs/h (40 kg/h) y es de 0,375 lb/CV-hora (0,17 kg/CV-h).

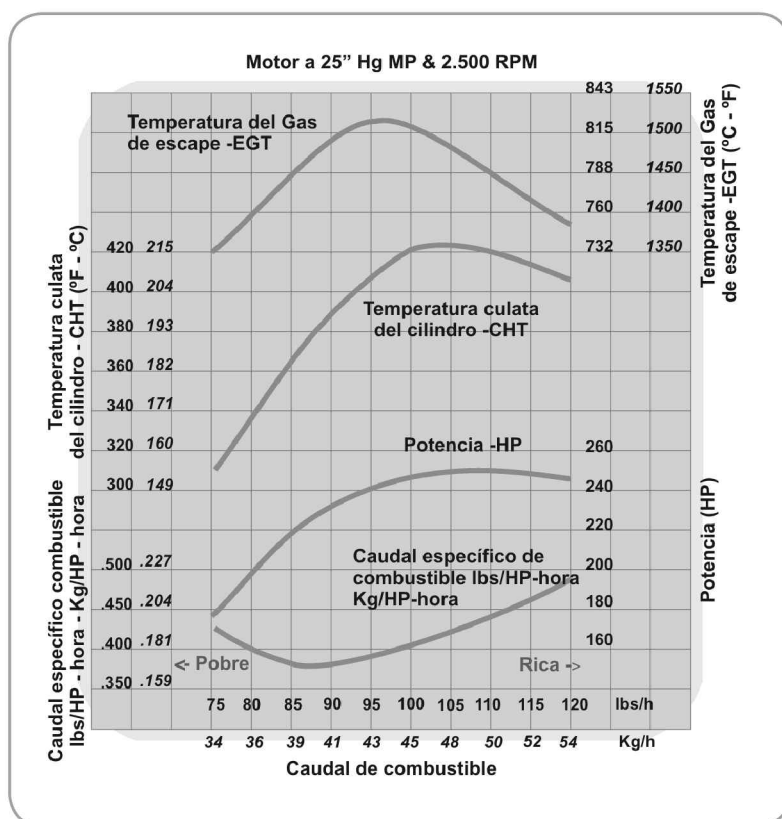


Figura 6.23. Curvas del motor Continental IO-550. Fuente: TCM – Operator and Installation Manual 550.

En vuelo, al alcanzar la altitud de crucero, e iniciar el empobrecimiento de la mezcla, el gráfico indica que EGT y CHT aumentan y la potencia aumenta ligeramente. Si el empobrecimiento de la mezcla continúa, se llega al consumo óptimo entre 0,385 y 0,400 lbs/h (0,18 kg/CVh). La figura permite ver que enriqueciendo la mezcla desde este punto se gana mucha potencia (25 a 30 CV–curva HP). Téngase en cuenta que ahí interviene además el rendimiento aerodinámico del avión, de modo que si la velocidad cae demasiado, no se gana nada en absoluto.

El manejo indebido del mando de mezcla puede parar el motor, por lo que el tirador es de color rojo para llamar así la atención del piloto. No es la primera vez que a pesar de estar pintado de rojo el mando de la mezcla, el piloto, al intentar abrir la calefacción del carburador, se equivoca y actúa sobre el tirador de la mezcla parando el motor, y tampoco es la primera vez en que en cabecera de pista al efectuar la comprobación del motor, el piloto, en lugar de abrir la calefacción, pone la mezcla en pobre, con lo que el motor está a punto de pararse y exclama en voz alta: «Este motor no va bien».

6.2.4. Selector de magnetos/starter

OFF, R (*right*), L (*left*), L+R (both, ambos), START.

6.2.5 Tacómetro

El tacómetro es uno de los instrumentos del motor más importantes. Señala las rpm correspondientes al cigüeñal del motor y por lo tanto de la hélice. Sirve para comprobar las magnetos antes del despegue. Indica la potencia que desarrolla el motor en los aviones con hélice de paso fijo. En los que disponen de hélice de paso variable, lo señala el manómetro del múltiple (manifold).



Figura 6.24. Tacómetro.

6.2.6. Indicador de la presión de admisión (manifold-MP)

Es un manómetro que mide la presión absoluta en el colector de entrada a los tubos de admisión del motor donde se introduce la mezcla aire-combustible en los cilindros. Se le llama también múltiple de admisión o MAP (*Manifold Absolute Pressure*), o bien MP. Está formado por dos fuelles, uno en el que se ha hecho el vacío y el otro que está conectado a la tubería de admisión entre el carburador y el motor.

Cuando el motor está parado, la presión medida es la atmosférica y el instrumento indica aproximadamente 29,92 pulgadas de mercurio. Cuando el motor se pone en marcha y está en ralentí, la válvula de mariposa está cerrada y los pistones del motor se comportan como una bomba de vacío, y la aguja marca como presión de admisión unas 12".

Si el mando del gas se pone al máximo (empujando la varilla a fondo) la válvula de mariposa se abre completamente y el aire entra libremente en el sistema, de modo que la indicación aguja del manifold aumenta hasta unas 25".

El manual de vuelo del avión indica, según la altura y las rpm, la presión de admisión. En motores de aire aspirado la lectura varía entre 10 y 40 pulgadas de mercurio.

El manifold (MP) permite al piloto ajustar el gas para un rendimiento (performance) máximo en el despegue, el ascenso y el vuelo de crucero. En general MP baja 1" Hg cada 1.000 pies de ascenso, de modo que a medida que se va ganando altura, debe

aumentarse la MP para tener la misma potencia (en aviones con hélice de paso fijo las revoluciones deben aumentar en unas 100 rpm). En un motor normal de aspiración llega un momento en que con el gas al máximo, ya no puede aumentar la MP, y si asciende todavía más la MP va a disminuir. Es ahí donde es de utilidad el motor sobrealimentado (dotado de un compresor que comprime el aire exterior para que el motor funcione como si estuviera al nivel del mar).

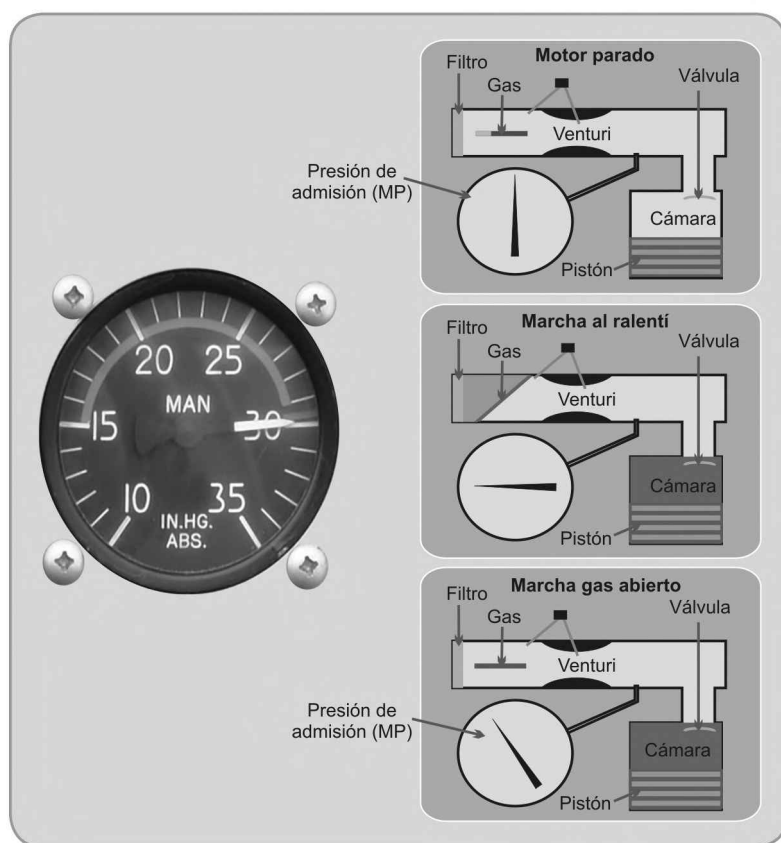


Figura 6.25. Manómetro indicador de la presión de admisión (manifold-MP).

En el descenso debe reducirse la potencia en 1" Hg cada 1.000 pies (bajar 100 rpm en aviones con hélice de paso fijo).

Una ventaja adicional del manifold (MP) es que puede detectar la formación de hielo. Cuando este se forma, se restringe el paso del aire, con lo que disminuye la presión absoluta indicada por el instrumento.

Otra ventaja es la detección de entradas de aire indebidas (fisuras en los conductos, juntas en mal estado) en el circuito de admisión que aumentan la indicación del manifold, de tal modo que el piloto que está acostumbrado a ver 12" Hg con el motor

al ralentí, si un día ve 15" Hg deberá sospechar de una entrada de aire en el circuito de admisión.

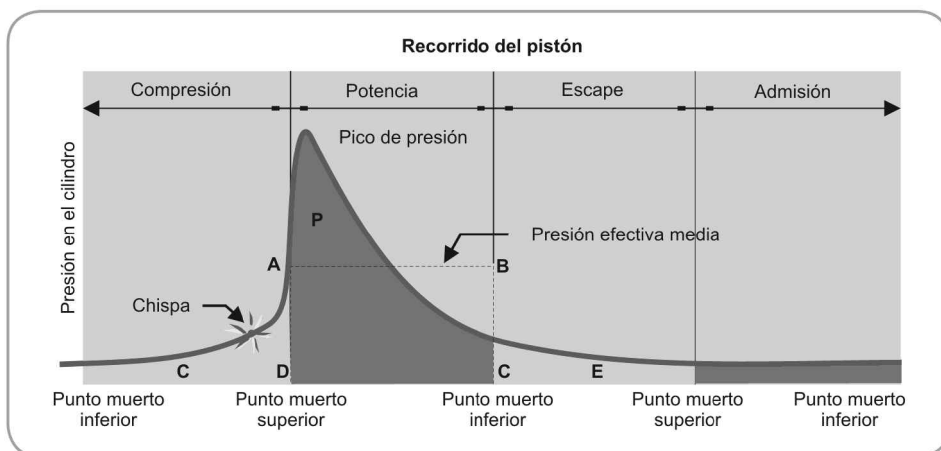
Antes de la puesta en marcha del motor, una comprobación simple del manifold (MP) consiste en situar la aguja del altímetro en la elevación del campo, ver la presión que marca en la ventanilla de Kollsman y restar 1 pulgada de dicha presión por cada 1.000 pies. El valor resultante deberá ser muy próximo al que marca el MP. Por ejemplo, en un aeropuerto de 6.000 pies de elevación con 29,5" Hg en la ventanilla de Kollsman. El valor $29,5" - 6" = 23,5"$ Hg debe ser aproximadamente el del MP.

Una maniobra prohibida es tener el gas abierto al máximo, con 25" Hg de MP y 2.700 rpm, y reducir por otros medios (por ejemplo, aumentando el paso de la hélice) las rpm a 1.200. Se presenta una situación en la que la presión de admisión es casi la de la presión ambiente, los pistones están aspirando aire pero a menos de la mitad de la velocidad anterior, con menos caudal de combustible, dan menos potencia y sin cambios en la presión MP y esta es una condición que el fabricante prohíbe porque puede causar daños a los componentes del motor.

Existe una regla aproximada:

«Siempre reduzca primero la presión del manifold (MP) antes de bajar las rpm y aumente primero las rpm antes de aumentar la presión manifold (MP).»

En funcionamiento normal del motor, la chispa de la bujía ocurre a los 22° antes del punto muerto superior (TDC) y el pico del impulso de presión (PPP) a los 16° después del TDC. De este modo, el eje ha girado $22^\circ + 16^\circ = 38^\circ$. Si ahora se reducen las rpm en un 20%, el eje va a girar solo el 80% de $38^\circ = 30,6^\circ$ desde el momento de producirse la chispa hasta que ocurre el pico de presión (PPP). Simplificando y no teniendo en cuenta la relación no lineal entre las rpm y la aparición del pico de presión (PPP), este se va a presentar pues a los 8° después del punto muerto superior (TDC) (en realidad sería a los 12° aproximadamente).



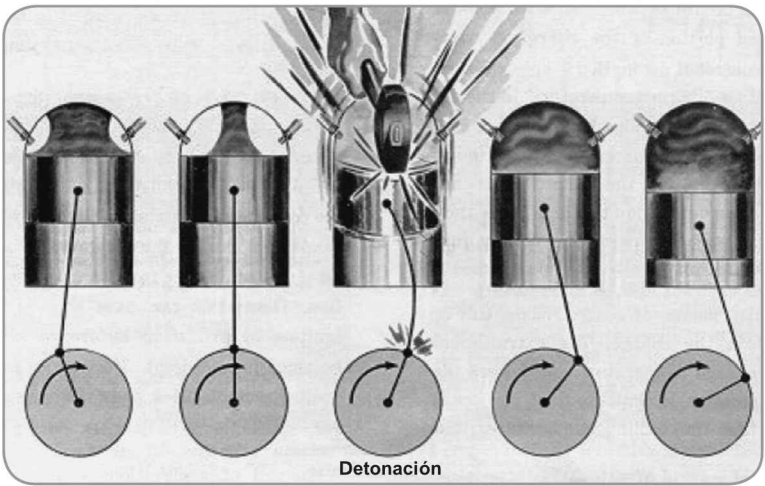


Figura 6.26. Efectos de un régimen de motor con alto MP y bajas rpm. Fuente: Pratt & Whitney.

Así pues, para el valor máximo de la presión de admisión (manifold – MP) y las rpm reducidas el pico de la presión (PPP) será mucho mas alto, ya que el volumen de la cámara de combustión será menor y por lo tanto aumentará la temperatura con la posibilidad de detonación. El fenómeno equivale a subir una cuesta en el automóvil, con el cambio de marchas en directa y apretando a tope el pedal del gas.

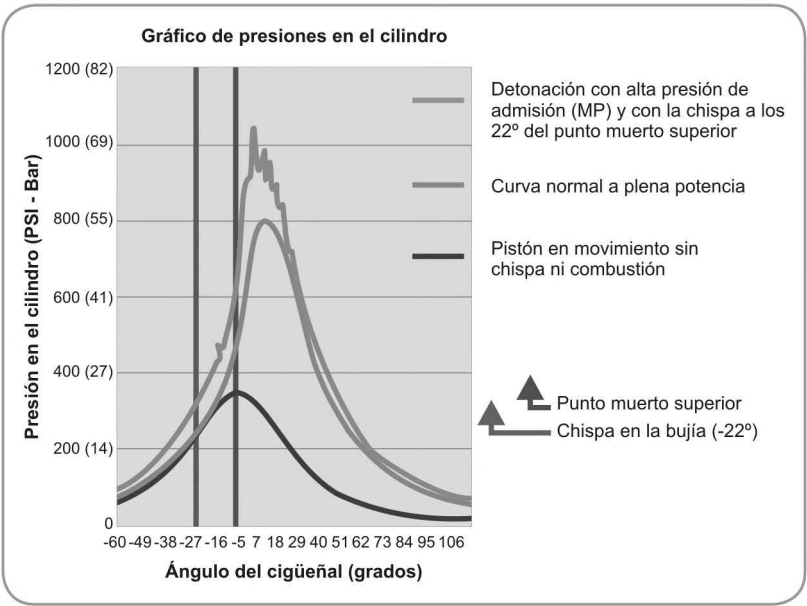


Figura 6.27. Presiones en el cilindro. Fuente: General Aviations Modification Inc (1996).

Todo esto parece complicado. Con el fin de fijar ideas veamos varias causas que provocan que el MP lea otro valor de la presión absoluta:

- Al cambiar el gas, gira la mariposa del carburador y se produce una pérdida de carga distinta en el Venturi.
- Al cambiar las rpm, varía el flujo de aire aspirado.
- El ascenso a mayor altitud.
- Suciedad en el filtro de inducción del carburador.
- Cambios en la densidad del aire por variaciones en la temperatura o la humedad.

Algunas incidencias en las que el MP ayuda son:

Tabla 6.3. Incidencias detectadas con el manifold (MP).

Incidencia	Causa probable	Acción correctora
Pérdida de la presión MP en crucero.	Bloqueo del carburador o del filtro de aire. Fallo del sobrealimentador.	Aplicar calefacción del carburador. Si se sospecha del filtro sucio conmutar a la posición sin filtro. Posible fuga en la salida de los cilindros. Usar la potencia mas pequeña y aterrizar lo más pronto posible.
Aumento de MP en crucero.	Gas abierto, el control de la hélice (<i>governor</i>) ha disminuido las rpm o se ha aplicado un método incorrecto de reducir la potencia.	Reajustar y apretar la tuerca de fijación del gas. Reducir previamente la MP antes de reducir las rpm.
Temperatura del aceite alta.	Detonación o preignición.	Observe la temperatura de las cabezas de los cilindros. Si son elevadas reduzca la MP y enriquezca la mezcla
Pérdida de velocidad en crucero con las rpm y la MP constantes.	Pérdida de uno o más cilindros.	Aterrice lo más pronto posible

Relacionados con el MP del motor se encuentran:

- Hélice de paso fijo en la que el ángulo de las palas establece que la hélice sea de potencia, de ascenso o de crucero. Las rpm varían según la potencia del motor y la velocidad del avión.
- Hélice de paso variable en la que una vez seleccionado en vuelo el paso por el piloto, también las rpm varían según la potencia del motor y la velocidad del avión.
- Hélice de velocidad constante en las que un mecanismo basado en la presión de aceite del motor o en resortes o en la presión de aceite de un regulador de paso (*governor*), cambian el paso de las palas. En aviación general de un solo motor el mecanismo es un resorte que tiende a un paso bajo de la hélice y es contrarrestado por la presión de aceite del regulador de paso (*governor*).

Si este se avería, la hélice pasa a un paso bajo (hélice de potencia). En los bimotores es a la inversa y la hélice que falla pasa a un paso alto (rpm bajas – puesta en bandera) mientras el otro motor permite continuar el vuelo.

El regulador del paso de la hélice (governor) es accionado por el motor mediante un mecanismo de fuerza centrífuga (contrapeso dinámico de la hélice), de modo que un aumento o disminución de las rpm comportan que el regulador gire más lento o más rápido para llevar las rpm a las seleccionadas por el piloto. En otras palabras, el piloto fija unas determinadas rpm y el regulador de paso (governor) se encarga de mantener el ángulo de las palas para conseguir las rpm deseadas.

En un bimotor típico, la avería de un motor hace que el regulador de paso (governor) envíe menos presión de aceite para reducir el ángulo de las palas de la hélice hacia el paso bajo (o plano). El efecto del viento a suficiente velocidad hará que la hélice puesta en bandera continúe girando a plenas rpm ofreciendo la mínima resistencia. La presión de admisión (manifold o MP), las rpm, la presión de aceite, la temperatura y otros parámetros permanecerán sin cambios, y solo lo evidenciarán el indicador de caudal de combustible y el indicador de temperatura del gas de escape (EGT: *Exhaust Gas Temperature*).

6.2.7. Contador de horas y minutos

Conectado a un transmisor de presión del aceite del motor, indica el tiempo de funcionamiento del mismo. Permite un control de las revisiones periódicas que debe pasar la aeronave (50, 100, 200, 500, 1.000, 2.000 horas).



Figura 6.28. Cuentahoras.

6.2.8. Manómetro de aceite

El *manómetro de aceite* es uno de los instrumentos primarios del motor. Consiste en un tubo Bourdon que indica la presión del aceite de lubricación enviado por la bomba de engranajes al motor. El tubo Bourdon es un tubo de sección elíptica que tiende a enderezarse al aumentar la presión interior del tubo. El movimiento es transmitido a la aguja indicadora por medio de un sector dentado y un piñón. Una lectura baja del manómetro indica un posible nivel mínimo de aceite, la bomba en mal estado, la rotura de las tuberías y cualquier tipo de fallo que comporte una reducción de presión.



Figura 6.29. *Manómetro de aceite.*

Al poner en marcha el motor, es el primer instrumento que el piloto debe observar. La presión de aceite debe subir como mínimo al valor indicado en el manual de vuelo del avión (zona de color verde). Si el valor es menor el motor debe pararse y buscar la causa.

En el caso de una pérdida total de presión en el manómetro de aceite en pleno vuelo, el termómetro de aceite sirve de comprobación de la integridad de la instalación, demostrable por conservarse la temperatura normal del aceite.

6.2.9. Termómetro de aceite

El termómetro de aceite mide la temperatura del aceite de lubricación a la entrada del motor. Señala al piloto si el aceite ha alcanzado la temperatura suficiente para el despegue y puede servirle de comprobación del buen funcionamiento del motor.



Figura 6.30. *Termómetro de aceite.*

Una temperatura elevada durante el vuelo comporta una disminución de la viscosidad y por lo tanto de las cualidades de lubricación del aceite.

6.2.10. Indicador de presión de combustible

En los aviones de ala alta, la alimentación del combustible es por gravedad. Los aviones de ala baja, al precisar de una bomba mecánica para extraer el combustible de los depósitos y bombearlo al carburador, poseen un indicador de presión del combustible. Asimismo disponen de una bomba eléctrica de seguridad, accionable mediante un interruptor en el panel, que se utiliza, en el arranque del motor, en las

fases más delicadas del vuelo (despegue, aterrizaje, vuelo sobre montañas o sobre el mar) y siempre que el piloto observe una baja presión en el indicador de presión del combustible.



Figura 6.31. *Indicador de presión de combustible.*

Una presión alta de combustible puede indicar algún bloqueo en los tubos de gasolina entre la bomba de combustible y el carburador. Es raro que se presente.

Una presión baja de combustible indicará un defecto en la bomba de membrana, alguna fuga en los conductos, con lo que el piloto deberá conectar inmediatamente la bomba eléctrica. Aparte del indicador, existe un testigo luminoso de baja presión de combustible.

6.2.11. Indicador de nivel de combustible

El combustible puede estar almacenado en depósitos montados en el interior del ala o en el fuselaje. El indicador de nivel suele ser un flotador que transmite su posición mediante un reóstato al indicador de nivel del panel.

Mediante la llave selectora se deben conmutar periódicamente los tanques durante el vuelo (típicamente cada $\frac{1}{4}$ de depósito). De este modo, se evita que el avión vuele descompensado y se previene el riesgo de una avería en la llave de conmutación que impediría el consumo de combustible del depósito sin usar. Como medida de precaución debe conectarse la bomba eléctrica durante el cambio de depósitos y hacerlo a una altura suficiente.



Figura 6.32. *Indicador de nivel de combustible.*

Se recomienda dudar de la lectura del indicador de combustible y comprobar visualmente el nivel antes del despegue.

6.2.12. Amperímetro

Es el instrumento más importante del sistema eléctrico del avión. Indica cuando el alternador está cargando la batería (aguja hacia la derecha, *charge*) o bien cuando la batería está descargándose (aguja hacia la izquierda, *discharge*). Algunos aviones disponen de una luz roja que se ilumina cuando el alternador está defectuoso o bien cuando sus rpm son demasiado bajas para cargar la batería, o cuando el motor está parado con el interruptor principal (master) conectado.



Figura 6.33. Amperímetro y voltímetro.

En vuelo su lectura periódica permite comprobar posibles descargas anormales por averías y desconectar los equipos que consumen más amperios a fin de alcanzar el aeropuerto de destino o uno alternativo con la energía suficiente para usar la radio.

El voltímetro lo complementa indicando la tensión en el circuito.

6.2.13. Termómetro del aire del carburador

Alerta al piloto sobre el riesgo de engelamiento del carburador.



Figura 6.34. Termómetro del aire del carburador. Fuente: Aircraft Spruce.

6.2.14. Termómetro de la culata del cilindro

Consiste en un termopar contenido en una sonda atornillada en un agujero roscado de la cabeza del cilindro, o bien en forma de arandela que se coloca en una bujía, sis-

tema que solo detecta la temperatura superficial de la culata. En ciertas condiciones de vuelo (ascenso) la arandela leerá una temperatura superior en 25 °C a 38 °C a la captada por las sondas. Aparte, es posible que en las operaciones de mantenimiento, al montar y desmontar las bujías, el sensor sufra daños.

El termómetro indica la temperatura del cilindro más caliente del motor, es decir, el que está más alejado del flujo de aire de refrigeración. Tiene marcas que señalan las temperaturas máximas permisibles. Como su tiempo de respuesta es menor que el termómetro de aceite, puede alertar al piloto sobre defectos en la refrigeración del motor. Estos pueden ser debidos a:

- Potencia máxima mantenida durante largo tiempo (temperatura alta).
- Ajuste inapropiado de la mezcla (mezcla muy pobre y la temperatura es alta).
- Restricción excesiva del flujo de aire de refrigeración (suciedad en las aletas de los deflectores y en los cilindros; temperatura alta).
- Vuelo en aire muy frío.
- Régimen de descenso pronunciado con poco motor. El motor se enfría, por lo que se recomienda que se dé potencia de crucero de cuando en cuando.
- Caudal de aceite insuficiente para lubricar las partes móviles internas del motor (temperatura alta).

El fabricante del motor indica en su manual la temperatura máxima que la culata del cilindro puede alcanzar en operación continua. Suele ser de 222 °C – 232 °C (435 °F – 450 °F), existiendo otro límite para períodos cortos de tiempo de 260 °C (500 °F). El piloto conservador considera los valores de 200 °C (392 °F). Si se sobrepasan estos valores máximos pueden excederse los límites estructurales del aluminio de los cilindros del motor.



Figura 6.35. Indicador de temperatura de la culata del cilindro.

En el caso de utilizar un monitor del motor es necesario colocar en cada cilindro un sensor de la temperatura de la culata (CHT).

6.2.15. Indicador de temperatura del gas de escape

La temperatura de los gases de escape (EGT: *Exhaust Gas Temperature*) es una indicación fiable de la composición de la mezcla aire-combustible. Su lectura permite

lograr un funcionamiento correcto del motor a diversas alturas de vuelo y conseguir la máxima potencia. Se tira del mando de gases hasta llegar al máximo de la temperatura permisible del gas de escape (EGT) y después se acciona el mando de mezcla hasta que la temperatura baja en unos 50 °C (106 °F).



Figura 6.36. Indicador de temperatura del gas de escape (EGT).

El régimen económico se consigue disminuyendo la temperatura entre 15 °C y 25 °C (32 °F y 53 °F).

6.2.16. Termómetro del aire exterior

El *termómetro de temperatura exterior* suele ser un termómetro bimetálico instalado sobre el parabrisas con la sonda dispuesta al exterior de la cabina. Permite al piloto determinar la altitud de densidad y así conocer las actuaciones (performances) del avión de acuerdo con los datos facilitados por el fabricante. También es útil para predecir la posible formación de hielo en el carburador o en la superficie del avión, cuando vuela entre nubes o en condiciones de engelamiento.



Figura 6.37. Termómetro de temperatura exterior.

El hielo puede formarse aproximadamente desde -12 °C con punto de rocío -12 °C, hasta 36 °C y punto de rocío 30 °C.

6.2.17. Vacuómetro

Indica el vacío producido por la bomba de vacío en el circuito de los instrumentos giroscópicos.



Figura 6.38. *Vacuómetro.*

6.2.18. Reloj

El reloj es útil como aparato de medida del tiempo de vuelo. Se utiliza en vuelo instrumental al objeto de realizar virajes coordinados precisos con el coordinador de virajes.



Figura 6.39. *Reloj cronómetro.*

6.2.19. Cuadro de luces

Con testigos de: baja presión de aceite y combustible, bajo nivel de gasolina en ambos tanques, batería descargada, funcionamiento de la bomba eléctrica de gasolina, flaps conectados. Pulsador de prueba.

- Panel de fusibles e interruptores automáticos.
- Interruptor de luz de posición.
- Interruptor de luz estroboscópica.
- Interruptor de luz de aterrizaje.

6.2.20. Monitor de cilindros

Después de haber visto que no basta con tener datos de la temperatura de la culata del cilindro más caliente y de que el piloto desconoce como se comporta cada cilindro durante el vuelo, es recomendable instalar un monitor que vigile todos los cilindros y que proporcione para cada uno la temperatura de culata (CHT) y la de escape (EGT). De este modo, puede limitarse la temperatura de las culatas de los cilindros

en 204 °C (400 °F). En esta etapa se prefiere que el motor disponga de inyectores de combustible en lugar de carburador.

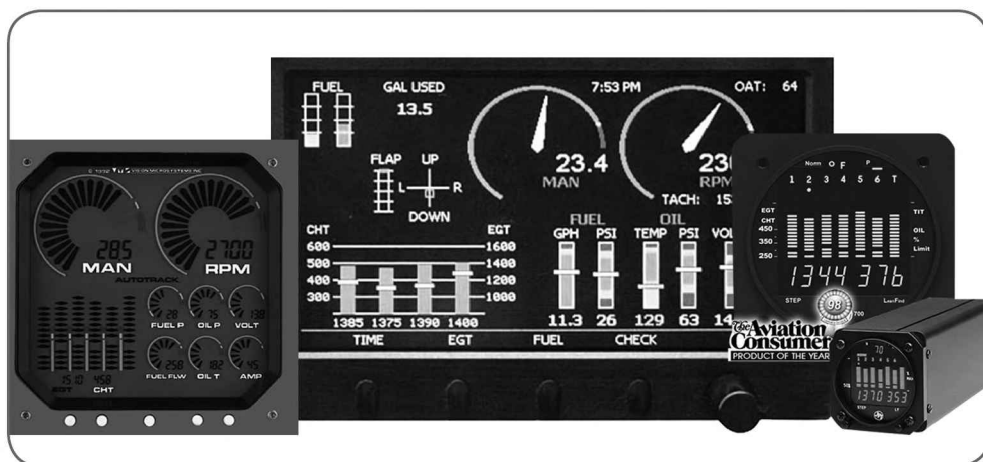


Figura 6.40. Monitor del motor. Fuente: Advanced Flight System.

En un avión con motor de aspiración normal, con hélice de paso fijo y sin estar equipado con manómetro de la presión de admisión (manifold – MP), el piloto despegue con mezcla rica y el gas a fondo (típicamente a 2.700 rpm) y ya en ascenso, al alcanzar los 1.000 pies, baja el gas a unas 2.500 rpm, creyendo que es lo más adecuado para el motor. Si examinamos las curvas de la Figura 6.41 vemos que es posible que el motor esté trabajando ahora en la parte superior plana de la curva de la temperatura de la culata del cilindro (CHT) que es una zona peligrosa. Por lo tanto es mejor que o bien continúe con el gas a fondo (CHT en 204 °C en la figura) o bien se asegure de que está a menos del 75% de la potencia, en cuyo caso el motor trabajará en la zona de la izquierda de la curva (CHT en 204 °C en la figura).

Si el avión está equipado con sonda de temperatura de la culata del cilindro (CHT) e incluso adicionalmente con sondas de la temperatura de los gases de escape (EGT) bastará que el piloto mantenga la temperatura de la culata (CHT) inferior a 215 °C en el lado rico de la mezcla o bien en el pico (820 °C) de la temperatura del gas de escape (EGT) que le asegura que la temperatura de la culata del cilindro estará a la izquierda de la curva a unos 206 °C o inferior.

En el gráfico de la Figura 6.42 puede verse que a 2.500 rpm la potencia gastada en rozamiento es de 42 HP, mientras que a 2.100 rpm cae a 27 HP. Es decir, se ganan 15 HP al pasar de 2.500 a 2.100 rpm, lo cual es muy útil. Sin embargo el pico de la presión (PPP) se separa del ideal de 16° pasando a 18° después del punto muerto superior (TDC), con lo cual se pierde algo de potencia y se aumenta la temperatura de la cabeza del cilindro (CHT). Por otro lado, cuanto más pobre es la mezcla más

retraso tenemos en el pico de la presión (PPP) que se separa del punto muerto superior (TDC).

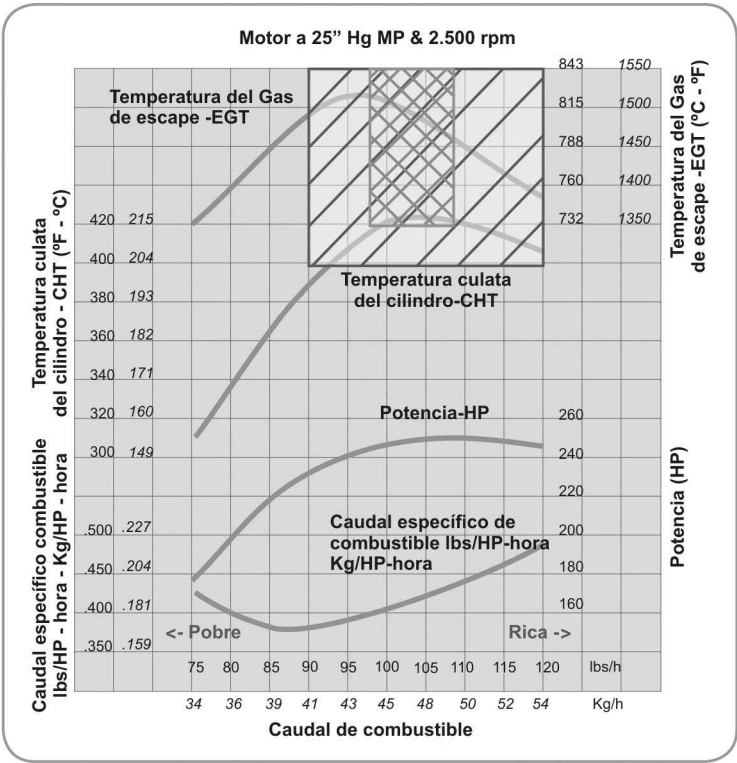


Figura 6.41. Potencia y temperatura de la culata en ascenso.

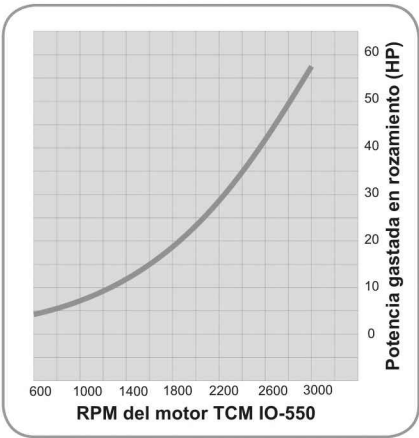


Figura 6.42. Potencia gastada en rozamiento en el motor según las rpm. Fuente: TCM IO-550.

De todo ello se deduce que debe haber un equilibrio entre la mezcla pobre y la baja velocidad del avión (bajas rpm) y la mezcla rica y la alta velocidad (altas rpm). De este modo, el procedimiento general es:

Máxima potencia y máximo rendimiento del motor = mezcla rica + rpm máximas.

Baja potencia y máximo rendimiento del motor = mezcla pobre + rpm más bajas.

El monitor del motor, aparte de realizar un diagnóstico de los problemas que puede presentar el motor, permite seleccionar la posición del mando de gases para obtener la potencia adecuada en cada fase del vuelo.

Puesta en marcha del motor: verificar el aumento uniforme de EGT en operación con una magneto y con la aplicación del mando de la mezcla.

Estar alerta ante un bajo voltaje, aceite frío, temperatura de la culata anormalmente alta, caída de EGT en operación con una sola magneto (bujía engrasada).

Despegue, ascenso y operación a plena potencia: verificar EGT y CHT, debiendo estar EGT entre 1.100 y 1.250 debido al enfriamiento del combustible.

Estar alerta ante EGT elevado en un cilindro (300 °F superior indica que el inyector de combustible está obturado o hay una fuga en la junta del manifold).

Crucero: seleccionar LF (*Lean Find*, mezcla pobre adecuada). El método estándar es trabajar a los 20 °F del lado rico de la mezcla. Pulsando el botón LF el monitor va explorando los cilindros y determinando los valores del pico de EGT. Seguidamente, el piloto va enriqueciendo progresivamente la mezcla hasta alcanzar el pico de la EGT para la potencia económica y 100 °F en la parte rica de la mezcla para la potencia óptima. El monitor también le permite trabajar en el lado pobre de la mezcla. Comparado este sistema de monitorización con el clásico de disponer de un solo EGT que pueda dar el promedio de temperaturas de los gases de escape de los cilindros, algunos pueden trabajar con una mezcla demasiado rica, mientras que en otros es demasiado pobre. Por otro lado, variaciones en la distribución del combustible, en la ignición y en la compresión, darán lugar a que cada cilindro trabaje con su propia relación mezcla/temperatura, de tal modo que un cilindro alcanzará el pico de EGT antes que los demás.

Descenso: estar alerta ante la alarma de choque térmico de 60 °F. Una tasa de enfriamiento de - 40 °F/minuto a - 60 °F/minuto es normal.

Los beneficios que aporta un buen control de la mezcla son:

- Mejora en el rendimiento del motor.
- Costes de mantenimiento reducidos.
- Mayor economía de combustible.
- Operación más suave del motor.

- Temperaturas adecuadas del motor.
- Mayor vida útil de las bujías.
- Vibraciones del motor reducidas.

Otras funciones que realiza el monitor son alarmas, detección de preignición y detonación, caudal y nivel de combustible, temperaturas, rpm, operación manual o automática, exploración (*scanning*), paso de datos a un ordenador para su estudio por el departamento de mantenimiento.

6.3. INSTRUMENTOS DE NAVEGACIÓN

En vuelo, el piloto puede orientarse por emisoras de radio (radionavegación), bien conociendo el rumbo magnético a seguir para llegar a una estación (QDM), o bien, en ruta de alejamiento, determinando desde la estación el ángulo que forma el avión con el norte magnético (QDR).

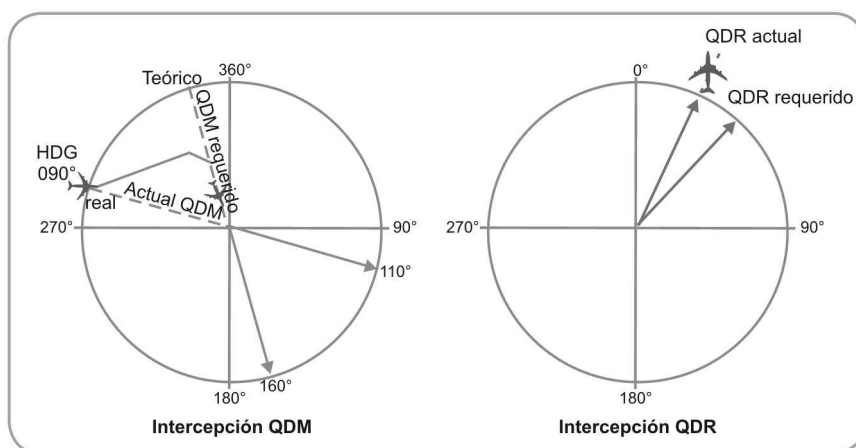


Figura 6.43. Intersección QDM-QDR.

6.3.1. ADF (*Automatic Direction Finder*)

Es un instrumento de navegación que recibe la señal de una emisora en tierra (radiofaro no direccional que transmite en todas direcciones) llamada NDB (*Non Directional Beacon*) y señala su dirección con relación al eje longitudinal de la aeronave. Las frecuencias medias usadas (200-1.750 kHz) se encuentran dentro de las correspondientes a las emisoras comerciales.

Es primordial identificar la posición de la estación emisora por su código (radiofaros en código Morse, por ejemplo, Sabadell es 438 KHz; código SBD (... -... -..)) para no dirigirse por error a una emisora equivocada.

Entre los inconvenientes que presenta el ADF figuran:

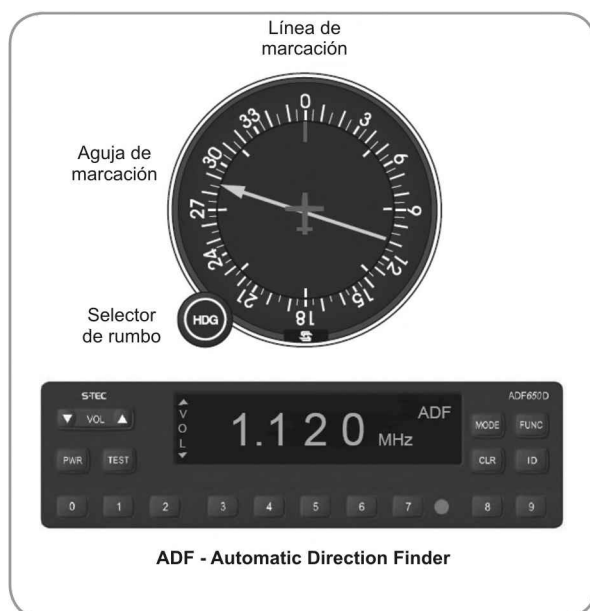


Figura 6.44. ADF.

- Desplazamiento producido por el viento lateral, que el piloto puede compensar parcialmente manteniendo una deriva adecuada con relación al rumbo.
- Ante una tormenta, el ADF tendrá la tendencia de señalar hacia la zona de máxima actividad de la misma, en lugar de indicar la posición de la emisora.
- Como la emisora NDB emite tres señales (onda de tierra, onda del cielo y su diferencia), en el atardecer o en la salida del sol, o durante la noche, la onda del cielo fluctúa por reflexión con la ionosfera y al sumarse con la onda de tierra es causa de oscilaciones en la aguja del instrumento.
- En la costa, las ondas de tierra cambian de dirección al pasar de la tierra al agua (y viceversa) y se curvan ligeramente.
- Las áreas con altas concentraciones de hierro curvan las ondas.
- Dos estaciones próximas pueden interferirse, lo que se resuelve con la proximidad a una de ellas.

6.3.2. VOR (*Very High Frequency Omnidirectional Range*)

El equipo VOR es un radiofaro omnidireccional que emite en VHF de 108 a 118 MHz. La antena VOR de la estación emite VHF en todas direcciones, enviando tres señales codificadas. Una es la identificación de la estación en código Morse y las otras dos son senoidales de 30 Hz, una de referencia, modulada en frecuencia (FM) en una subportadora de 9.960 Hz y que mantiene su fase constante, mientras que la otra cambia su fase según la dirección en que es emitida. De este modo, el receptor

del avión decodifica la señal de FM, extrae la frecuencia y compara las dos señales de 30 Hz para determinar su desfase. El ángulo de fase obtenido es la dirección magnética en grados desde la estación al avión, y se llama radial.

En otras palabras, es como si tuviera una antena giratoria que emplease un tiempo de 1/30 de segundo para dar una vuelta. La señal de referencia se transmite en el mismo instante en que la giratoria alcanza el norte magnético. De este modo, si el receptor VOR de a bordo recibe la señal de referencia y 1/60 segundos después la giratoria, el avión se encuentra en el radial:

$$\frac{1/60}{1/30} * 360 = 180^\circ$$

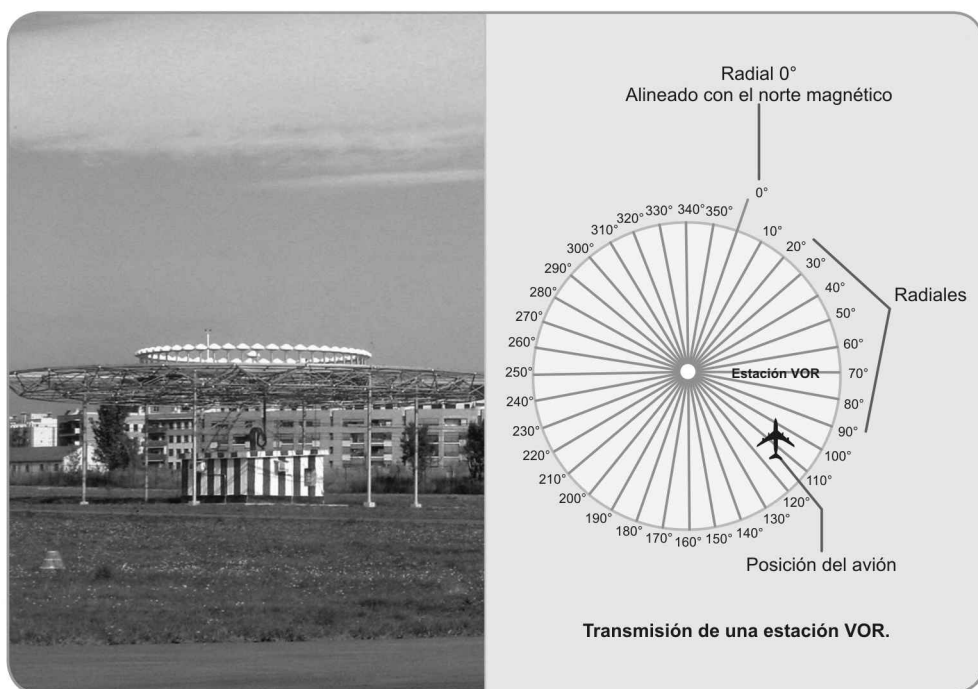


Figura 6.45. Estación VOR. Fuente: Aeropuerto de Sabadell.

Para entender el funcionamiento del VOR puede considerarse la estación como si estuviera formada por un poste vertical con un faro giratorio en su parte superior y con 360 rayas (radiales, uno por cada grado) marcadas en el suelo partiendo del centro del poste. El faro antes de empezar el giro centellea y después emplea seis minutos (360 segundos) en dar una vuelta. Un observador situado sobre una raya mide el tiempo que transcurre entre el centelleo y el momento en que el rayo de luz le alcanza. Si este tiempo resulta ser de 120 segundos significará que se encuentra sobre la raya (radial) de 120 grados.

La precisión predecible de un VOR es $\pm 1,4^\circ$. Sin embargo, datos de prueba indican que el 99,94% del tiempo, el sistema VOR tiene menos de $\pm 0,35^\circ$ de error. La Norma ARINC 711-10 del 30 de enero de 2002 establece que la precisión del receptor debe estar dentro de $0,4^\circ$.

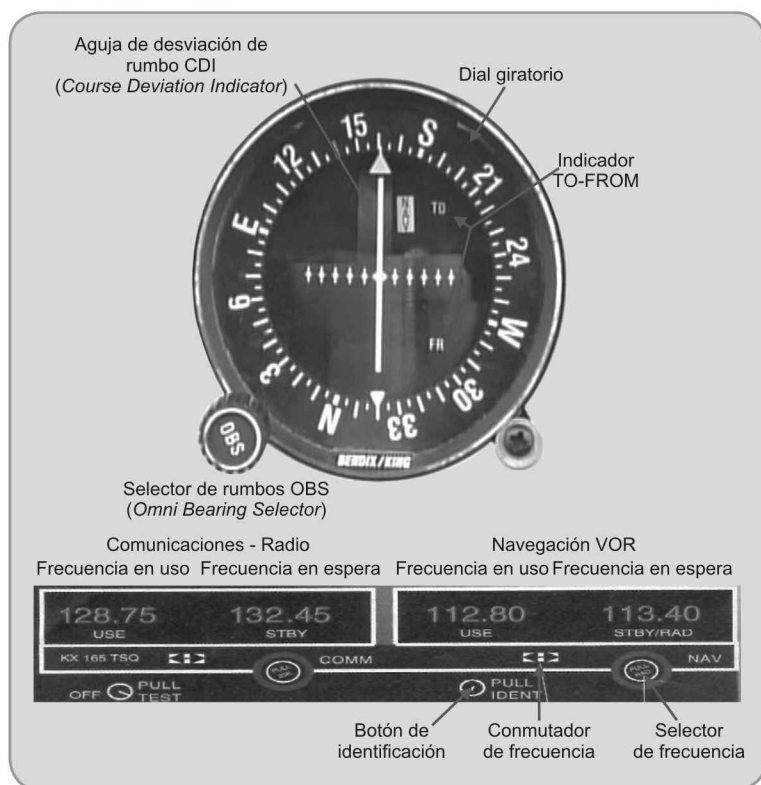


Figura 6.46. VOR.

El VOR indica en una ventanilla, mediante banderitas (flag), si el radial corresponde al avión dirigiéndose hacia la estación (TO, hacia), o si el radial corresponde al avión saliendo de la estación (FROM, desde). Si la señal es mala o no hay señal la indicación es OFF. Dispone de una aguja vertical CDI que señala la desviación del avión con relación al radial seleccionado. Las desviaciones se indican en forma de puntos y cada punto equivale a 2° de desviación.

El VOR tiene la ventaja de señalar el radial donde se encuentra el avión, independientemente de su rumbo, pero para una recepción eficaz, no deben existir obstáculos entre el avión y la emisora VOR, por lo que la estación puede dejar de sintonizarse a baja altura.

El instrumento DME (*Distance Measuring Equipment*) complementa el VOR. Consiste en un equipo de tierra que opera en UHF pero que puede acompañar al VOR o

al ILS en las frecuencias del localizador, y en el equipo del avión que selecciona el DME a través de un receptor VOR o ILS. El DME calcula la distancia desde el avión hasta la estación VOR mediante pares de impulsos (frecuencia 1.000 Hz) enviados desde el avión con una separación de 12 o 30 microsegundos, que se reciben en la estación y se retransmiten al avión con un retardo de 50 microsegundos. El receptor del avión, teniendo en cuenta que un impulso de radio emplea 12,36 microsegundos en recorrer 1 milla náutica hacia y desde la estación (milla – radar), calcula el retardo entre la transmisión y la recepción, resta 50 microsegundos, multiplica por la velocidad de la luz y divide por 2. El resultado es la distancia en millas náuticas a la estación VOR que se visualiza en el receptor.

La exactitud del DME es de unos 185 metros (± 1 milla náutica). A tener en cuenta que el DME indica la distancia a la estación, por lo que cuando el avión esté en la vertical de la estación indicará la altura de sobrevuelo de la misma.

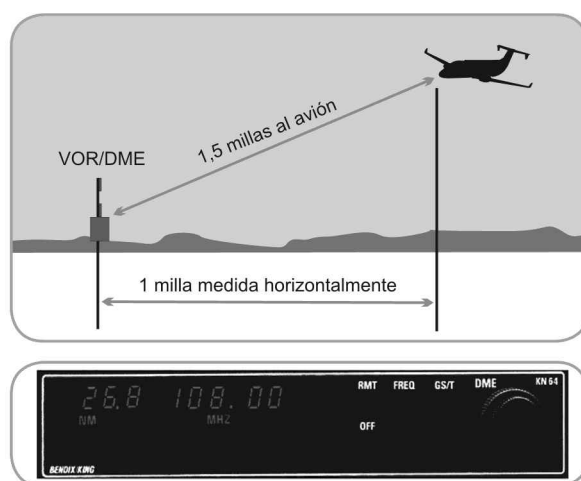


Figura 6.47. Equipo DME.

6.3.3. Navegación de área (RNAV)

Permite navegar por rutas que no están apoyadas en estaciones VOR, mediante la creación de «estaciones fantasma» definidas por el radial (RHO) y la distancia DME (THETA) a cada estación VOR de apoyo. De este modo, proporciona un mejor uso del espacio aéreo, ahorrando tiempo y combustible.

El conjunto de las estaciones fantasma forma la ruta RNAV, que puede apoyarse en las ayudas a la navegación (VOR/DME, DME/DME, LORAN C, GPS/GNSS), y debe cumplir con el RNP (*Required Navigation Performance*).

La RNAV tiene las siguientes ventajas:

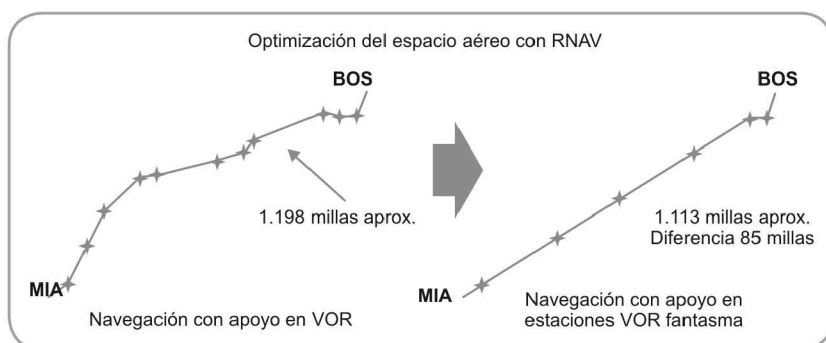


Figura 6.48. *Navegación RNAV.*

- Flexibilidad en el diseño de la estructura de rutas ATS.
- Rutas más directas, lo que proporciona un mayor flujo de tránsito aéreo.
- Uso más eficiente del espacio aéreo disponible, con rutas más flexibles y aplicación del concepto FUA (uso flexible del espacio aéreo) con un aumento de hasta un 30% de capacidad.
- Reducción de las distancias de vuelo con mayor ahorro de combustible.
- Optimización de la infraestructura de navegación con menores emisiones gaseosas de las aeronaves, y menor impacto acústico gracias a la modificación de las rutas de salida y llegada.

6.3.4. Respondedor (*transponder*)

Es un radar emisor-receptor transportado por el avión (radar secundario), que responde en 1.090 MHz al ser interrogado por el radar de tierra a 1.030 MHz. La identificación del avión aparece en la pantalla de radar, bien sin altitud (código A) o con la altitud (código C), en cuyo caso el altímetro debe disponer de codificador de altura. El modo S (Selectivo) es obligatorio en espacios controlados en la mayoría de países y proporciona la identidad permanente del avión e información sobre el tráfico próximo al avión.

El piloto introduce en el aparato de a bordo un código (*squawk*; por ejemplo, el número 6230) asignado por el controlador. Si el controlador desea una identificación mas clara del avión en la pantalla, pide al piloto que pulse el botón «IDENT», con lo que aumenta la intensidad del blanco y el avión queda destacado con respecto a los demás.

El código más pequeño es el 0000 y el mayor 7777. Los códigos utilizados son:

- 1200: código estándar para vuelo visual (VFR) en Estados Unidos.
- 7000: código estándar para vuelo visual (VFR) en Europa.
- 0000: escolta militar (Estados Unidos), sospecha de fallo de respondedor (Inglaterra).

- 7777: intercepción militar. Prohibido para aviones civiles.
- 7500: interferencia ilícita (secuestro). El controlador pide confirmación con las palabras «CONFIRM SQUAWK SEVEN FIVE ZERO ZERO».
- 7600: pérdida de comunicaciones. NORDO abreviación de «No Radio». Si la emergencia ocurre en vuelo VFR, se espera que el piloto aterrice lo antes posible. En vuelo IFR, el piloto debe seguir las últimas instrucciones dadas por el control de tráfico. En el caso de que el avión solo pueda recibir mensajes por radio, el controlador puede requerir al avión que realice giros de identificación, que incline las alas a un lado y otro, que encienda y apague las luces de navegación o bien que pulse el botón «IDENT» del respondedor.
- 7700: emergencia general. El piloto selecciona 7700 si le es imposible establecer comunicación inmediata con ATC y desea alertar de una situación de emergencia.

Cuando hay que cambiar el código del respondedor, en aparatos con selección por botones giratorios, el piloto debe proceder con sumo cuidado para no seleccionar inadvertidamente 7500, 7600 o 7700, es decir, si por ejemplo debe cambiar de 1700 a 7100, debe pasar primero por 1100 y después a 7100 y no pasar del código 7700 a 7100. Tampoco debe seleccionarse «STANDBY» mientras se cambia el código ya que ello implica que el avión desaparece de la pantalla de radar.

La posición de «STANDBY» se selecciona en el rodaje y después del aterrizaje. En el despegue se selecciona «ON» (modo A sin código de altura donde el controlador solo ve la posición en dos dimensiones del avión) o «ALT» (con código de altura).

En ocasiones el controlador pide al piloto la altitud del avión con el fin de prevenir rumbos de colisión con otros aviones. La altitud dada por el piloto al leer su altímetro (que tiene codificador operando con incrementos de 100 pies) se considera válida si la diferencia con la leída por el controlador en la pantalla no es mayor de 200 pies e inválida si la diferencia es superior a 300 pies.



Figura 6.49. Respondedor (transponder).

6.3.5. Sistema PCAS (*Portable Collision Avoidance Systems*)

Es un sistema portátil de alerta y evasión de colisión que combinado con el respondedor y un GPS, permite detectar en una forma visual muy clara hasta 10 aviones

próximos simultáneamente. Lógicamente, para que el sistema funcione con total seguridad todo el mundo debería llevar un transponder y este debería estar operativo. El coste estimado del PCAS oscila entre 500 a 1.500 €, y el de un transponder unos 3.000 € y a medida que se vaya difundiendo su aplicación, su precio bajará.

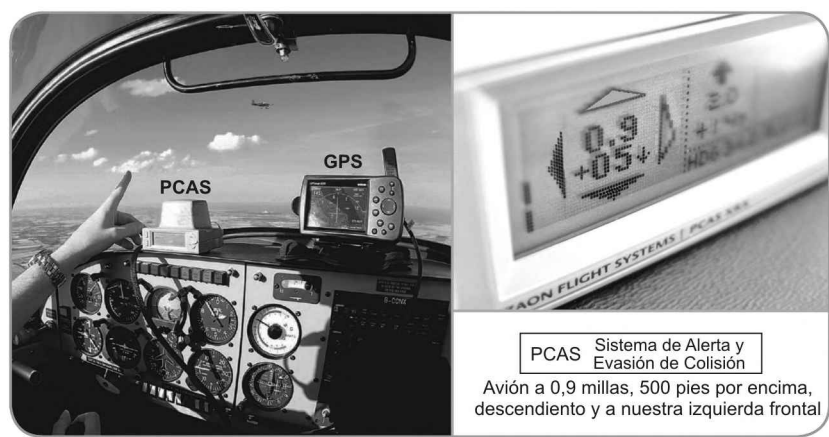
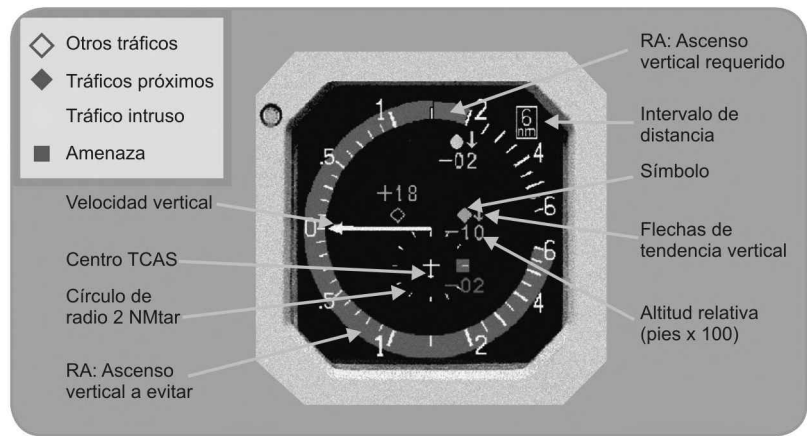


Figura 6.50. PCAS (Sistema Portátil de Alerta y Evasión de Colisión). Fuente: Zaan Flight Systems.

6.3.6. El Sistema TCAS (Traffic-Alert and Collision Avoidance System)

Utilizado en aviación comercial, es un sistema autónomo de la aeronave, basado en el respondedor, que funciona independientemente de los equipos de navegación y radioayudas utilizadas para los servicios de tránsito aéreo. Cada aeronave interroga a los demás aviones con una señal de 1.030 MHz y los restantes aviones responden en la señal de 1.090 MHz. La respuesta enviada por las aeronaves en vuelo en la zona es analizada por el ordenador del TCAS que calcula su altitud, rumbo y velocidad, y presenta en pantalla un mapa de tres dimensiones de sus movimientos.



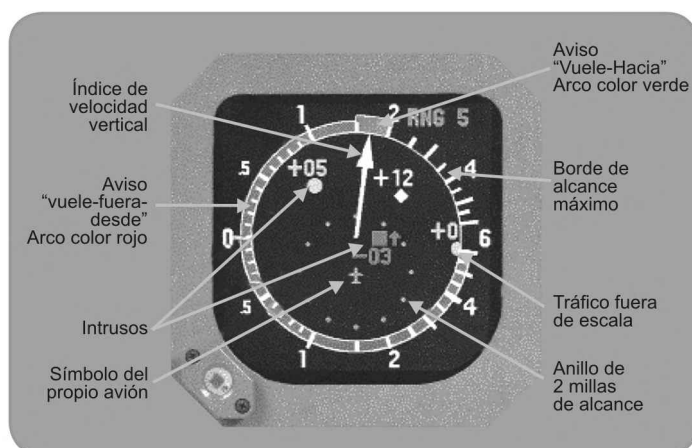


Figura 6.51. TCAS.

Si existe un riesgo de colisión, lo comunica a la tripulación a través de la pantalla y con las instrucciones de una voz sintetizada.

«Traffic, Traffic» («Tráfico, Tráfico»);

«Climb, Climb» («Ascienda, Ascienda»);

«Increase Climb, Increase Climb» («Aumente el ascenso, Aumente el ascenso»; etc.

Hay varios sistemas de TCAS:

- **TCAS I:** informa al piloto la posición de las aeronaves «intrusas» (aviación general).
- **TCAS II:** informa al piloto la posición de las aeronaves y crea una acción evasiva en el plano vertical (ascenso o descenso). Se utiliza en aviación comercial.

- **TCAS III:** informa al piloto la posición de las aeronaves y genera una acción evasiva, en los planos horizontal (virajes) y vertical (acenso o descenso) a los aviones que están en rumbo de colisión. Se utiliza en aviación comercial.

6.3.7. LORAN (*Long Range Navigation*)

La versión normalmente utilizada es LORAN-C que opera en baja frecuencia de 90 a 110 kHz. Un emisor maestro emite un grupo de impulsos a intervalos fijos y otros emisores secundarios lo hacen un determinado tiempo después de la emisión del maestro. Un receptor situado a bordo del avión calcula su posición basándose en las diferencias de tiempo entre los impulsos maestros y los secundarios. La posición está actualizada continuamente, así como la distancia hacia los puntos (*waypoints*) de los tramos de la ruta. La exactitud conseguida es del orden de los 300-500 metros, que puede mejorarse hasta los 8 m. con el E-LORAN con características de diseño y transmisión óptimas. Aunque está en desuso hay intentos para utilizarlo de nuevo combinado con las señales de GPS.

6.3.8. GPS (*Global Positioning System*)

Es un sistema de navegación formado por 24 satélites que describen trayectorias sincronizadas a 20.200 km sobre la Tierra y cubren toda la superficie del globo terrestre repartidos en seis planos orbitales de cuatro satélites cada uno. Se alimentan con energía eléctrica procedente de dos paneles adosados compuestos de celdas solares.

Las estaciones terrestres envían información a los satélites para controlar las órbitas y realizar el mantenimiento de toda la constelación (datos de efemérides, datos de corrección de propagación atmosférica, tiempo de reloj, etc.).

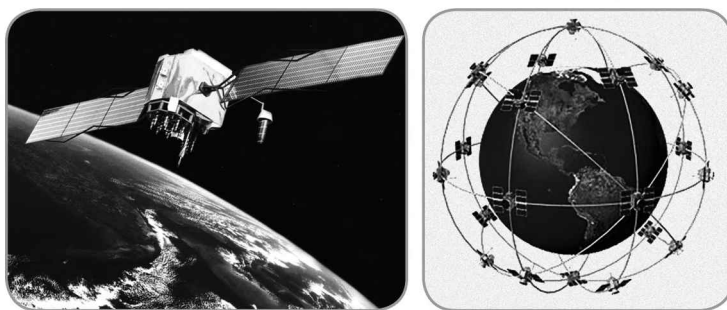


Figura 6.52. *Satélites GPS.*

Los receptores indican la posición del usuario en términos de longitud, latitud, altitud y tiempo, para lo cual deben usarse un mínimo de cuatro satélites. El receptor calcula estos valores basándose en el retardo de la señal del satélite para alcanzar el receptor, con lo que la posición del usuario viene determinada por la intersección de

tres esferas a la que añade una cuarta medida para compensar el error del reloj del receptor.

Los sistemas GPS actuales son el GPS (Estados Unidos) y el GLONASS (Federación de Rusia) que pertenecen a la aviación militar y no cumplen suficientemente las necesidades de aviación civil, ya que en situaciones de crisis pueden anular o degradar la señal, aunque el gobierno de Estados Unidos eliminó, en mayo del año 2000, el error deliberado (disponibilidad selectiva) que emitía para los usuarios civiles. Sin embargo, no hay compromiso en la calidad y continuidad del servicio, una precisión insuficiente, falta de cobertura en latitudes elevadas y carencia de información sobre los errores de posición que pueda dar el GPS.

Los sistemas de aumentación de la señal SBAS (EGNOS europeo, WAAS de Estados Unidos y MSAS japones) aumentan las prestaciones del GPS al utilizar señales de satélites geostacionarios que corrigen las señales de los otros satélites.

El DGPS (GPS diferencial) compara las lecturas del GPS con las de un punto cuya posición está perfectamente definida, por lo cual aumenta su precisión, alcanzando la del GPS original.

La Unión Europea apostó por contar con su propio sistema de navegación por satélite GALILEO (30 satélites repartidos en tres planos orbitales de 23.600 km de altura y 55° de inclinación) que permitirá exactitudes de unos pocos metros y proporcionará garantías legales de operación. El sistema complementará e interoperará con GPS y GLONASS garantizando en conjunto la seguridad del tráfico aéreo.

El primer satélite GALILEO fue el GIOVE A (23.260 km sobre la Tierra), que fue lanzado en diciembre de 2005, y el segundo, el GIOVE B lanzado el 28 de abril de 2008, que contiene el reloj más preciso del espacio (pierde menos de un nanosegundo por día). El sistema completo de satélites será funcional el año 2013 y promete una exactitud de localización de un metro en lugar de una decena de metros, como el actual GPS de Estados Unidos.



Figura 6.53. Ruta GPS.

En síntesis, el GPS es un sistema que proporciona nuestra posición en la Tierra y nuestra altitud, con una precisión casi exacta, incluso en condiciones meteorológicas muy adversas.

Sus aplicaciones son cada vez más diversas:

- Si bien en la maniobra de aproximación a un aeropuerto, el GPS no tiene todavía la suficiente integridad y exactitud, ya está en servicio el sistema de aumento de área local (LAAS: *Local Area Augmentation System*), que permite el aterrizaje en todo tipo de tiempo en aeropuertos dotados de sistemas de correcciones diferenciales hechas en tiempo real a la señal GPS.
- El proyecto WAAS (*Wide Area Augmentation System*), financiado por la FAA, está dirigido a las aproximaciones de clase 1 en Estados Unidos.
- Están en estudio normas para certificar GPS para vuelos IFR en ruta.

Hay básicamente dos modelos de GPS, los portátiles y los instalados fijos en el panel del avión. Sus prestaciones aumentan de día en día. Disponen de las coordenadas de los aeropuertos, VOR, NDB, intersecciones, FSS, aproximación, aviso de colisión con el terreno, operaciones oceánicas, etc.



Figura 6.54. Receptores portátiles GPS. Fuente: Garmin.



Figura 6.55. Receptor fijo en el panel del avión. Fuente: Garmin.

6.3.9. Indicador radiomagnético (RMI)

Es el equipo básico de navegación para los instrumentos del tipo ADF y VOR. Consiste en un indicador circular exterior fijo, que sirve de referencia del rumbo, de un indicador interior móvil, accionado por una válvula de flujo giroscópica direccional que proporciona el rumbo magnético que lleva el avión, y de dos agujas de distinto grosor que permiten combinar las indicaciones ADF y VOR.



Figura 6.56. Indicador RMI (Radio Magnetic Indicator).

En la Figura 6.56 el rumbo del avión es 322°, mientras que el rumbo magnético a la estación NDB es de 290°. La segunda aguja señala a una estación VOR, que indica que para ir a la estación, el piloto debe volar a 12°. De este modo, el piloto puede fijar con seguridad la posición del avión con relación a las ayudas y al norte magnético.

6.3.10. Ring Laser Gyro (RLG)

Es un sistema de referencia inercial que equivale a un instrumento giroscópico pero sin los inconvenientes de rozamiento y por lo tanto de precesión, aparte de que es compacto, ligero y virtualmente indestructible.



Figura 6.57. Ring Laser Gyro. Fuente: Honeywell.

Se basa en pasos de transmisión configurados en forma de cuadrado o triángulo y conectados con espejos, uno de los cuales es plateado y permite pasar la luz a los

detectores. Se envía un láser a los pasos en ambas direcciones que establece una onda resonante de acuerdo con la longitud del paso. Si el instrumento gira, la luz en una de las ramas recorre una distancia diferente de la otra, cambiando la fase y la frecuencia de resonancia con relación a la luz que viaja en la otra dirección, lo que da lugar a un desfase que es proporcional al giro del avión y que se mide con un interferómetro.

6.3.11. ILS (*Instrument Landing System*)

Sistema de aterrizaje por instrumentos formado por un localizador (*localizer*), un emisor de senda de planeo (*glide path*), tres radiobalizas y luces de aproximación para la transición de vuelo instrumental a visual.

El ILS proporciona al piloto un guiado preciso para el tramo final hasta el aterrizaje. El piloto vuela su avión a lo largo de una trayectoria definida por la intersección de dos planos creados por dos haces de radio, el horizontal del localizador de amplitud 3° - 6° , para la guía en el plano horizontal y el vertical del emisor de la senda de planeo de amplitud $1,4^{\circ}$, para la guía en el plano vertical. En la cabina, los receptores VOR/LOC y UHF de la senda de planeo (*glide slope*), o bien el HSI (*Horizontal Situation Indicator*), indican al piloto mediante dos agujas, una horizontal que señala la posición del avión respecto a la senda de planeo, y otra vertical que indica la desviación respecto al localizador, si va siguiendo correctamente la ruta del ILS hasta la pista.

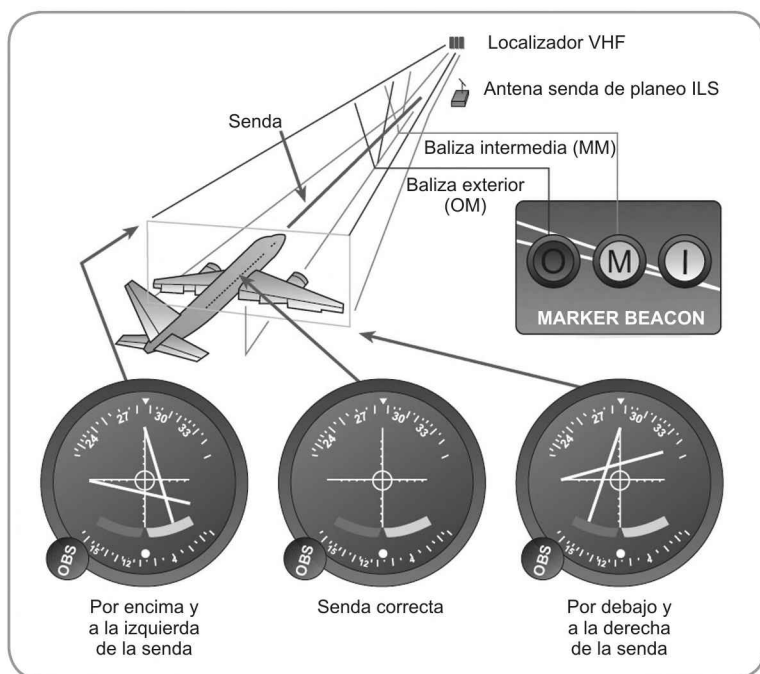


Figura 6.58. ILS (*Instrument Landing System*).

El localizador opera dentro de la frecuencia de 108.10 a 111.95 MHz, emitiendo una portadora modulada con dos señales de 90 y 150 Hz, una a cada lado de la pista, de tal forma que la línea de solape coincide con la ruta de aproximación.

El emisor de la senda de planeo transmite dentro de las frecuencias 329.15 MHz, a 335.00 MHz, radiando lóbulos de 90 y 150 Hz cuyo solape es la senda. Se encuentra a una distancia entre 750 pies y 1.250 pies de la cabecera de pista y desplazado lateralmente unos 250 a 650 pies, emitiendo el haz formando un ángulo de 3° con la horizontal. De este modo el haz intercepta la baliza intermedia (MM) a 200 pies y la baliza exterior (OM) a 1.400 pies, ambos de elevación sobre la pista, alcanzando una distancia de 10 millas náuticas o más.

Las radiobalizas (*marker beacons*) proporcionan puntos fijos de precisión durante la aproximación. Emiten con una potencia de 3 W o menos, haces verticales elípticos que sirven de puntos de comprobación de la posición del avión en su recorrido por la senda. Son la baliza exterior (OM: *Outer Marker*) situada a 5-7 millas, la baliza intermedia (MM: *Midle Marker*) a 3.500 pies y la baliza interior (IM: *Inner Marker*) situada a 600 pies del inicio de la pista. El piloto sabe que pasa por la vertical de cada una de ellas, gracias a un conjunto de luces y a una señal acústica Morse.

Tabla 6.4. Características de las radiobalizas.

Radiobalizas	Exterior (OM – <i>outer marker</i>)	Intermedia (MM – <i>midle marker</i>)	Interior (IM – <i>inner marker</i>)
Luz centelleante	Azul	Ambar	Blanca
Tono Morse	2 rayas	Punto-Raya	Puntos
Distancia a cabecera pista	5-7 millas (8 – 11,2 km)	3.500 pies (1.066 m)	600 pies (183 m)
Intersección con el haz del localizador	1.400 pies (427 m) de elevación sobre la pista	200 pies (61 m) de elevación sobre la pista	Proporciona la altura de decisión de unos 50 m

Dada la escasa potencia de las radiobalizas, se sitúan en las mismas radiobalizas de compás asociadas al ILS, con una potencia mínima de 25 watios operando entre 190 y 535 kHz, y que alcanzan 15 millas como mínimo. Son designadas como LOM (*Localizers Outer Marker*) o LMM (*Localizer midle marker*) y facilitan la localización de las balizas y la navegación.

Muchos sistemas utilizan solo las balizas exterior (OM) y la intermedia (MM). La baliza interior (IM) se reserva para indicar la altura de decisión (DH: *Decision Height*) en la categoría II y III del ILS.

Hay varias categorías de ILS:

- **Categoría I**, que guía al piloto hasta una altura de decisión no menor de 60 m (200 pies) sobre el inicio de la pista y que es válido para una visibilidad hori-

zontal en pista de 800 m (2.600 pies) o una visibilidad en pista (RVR, Runway Visual Range) no menor de 550 m. El avión lleva un altímetro.

- **Categoría II**, que tiene una altura de decisión entre 60 (200 pies) y 30 m (100 pies) sobre el inicio de la pista, válido para una visibilidad horizontal en pista no menor de 350 m (1.300 pies). El avión lleva un radar altimétrico.
- **Categoría III**, que proporciona una guía a lo largo de la superficie de la pista. El avión lleva un radar altimétrico y tres dispositivos autopilotos. Se subdivide en:
 - III A: la altura de decisión menor de 30 m (100 pies) o bien sin limitación de altura para una visibilidad RVR de 200 m (700 pies).
 - III B: la altura de decisión es menor de 15 m (50 pies) o bien sin limitación de altura para una visibilidad RVR entre 200 m y 50 m (150 pies).
 - III C: sin limitación de altura ni limitación de visibilidad RVR.

Un instrumento tal como el HSI (*Horizontal Situation Indicator*, Indicador de situación horizontal) indica al piloto mediante dos agujas, una horizontal y otra vertical, si va siguiendo correctamente la senda de planeo. Al pasar por la vertical de la radiobaliza exterior (OM: *Outer Marker*) se ilumina una señal roja y se oye otra audible (dos rayas por segundo), mientras que al continuar la aproximación y pasar sobre la radiobaliza media (MM: *Middle Marker*) se enciende una luz amarilla y aparece una señal auditiva de puntos y rayas. En esta última posición, el piloto debe ver ya la pista. Si no es así, debe iniciar una maniobra de aproximación frustrada para volver a intentar el aterrizaje o desviarse a otro aeropuerto.

6.3.12. Indicador de situación horizontal (HSI)

Es un instrumento que combina un indicador de rumbo del avión y un VOR/ILS con DME, lo que permite una navegación precisa y la aproximación ILS a un aeropuerto.

Desde el punto de vista de navegación, el VOR dispone de un botón de selección del radial, de la bandera TO/FROM, representada por una flecha que apunta al VOR y que en TO señala hacia fuera del piloto, mientras que en FROM apunta hacia el piloto. Dispone de una sección central móvil que indica la desviación del avión respecto al radial y de una rosa de rumbos giratoria (direccional giroscópico) que indica la dirección en que apunta el avión que está fijo en el centro del instrumento. Un indicador movido por el piloto le recuerda el rumbo deseado.

En recepción ILS, la aguja de la senda de planeo y la sección central móvil de la flecha que señala el radial, indican la posición del avión con relación a la senda del localizador del ILS, y el DME señala la distancia al VOR del aeropuerto. El instrumento puede conectarse a un autopiloto con capacidad de mantener la altura y seguir la senda de planeo hasta la altura de decisión y el aterrizaje.

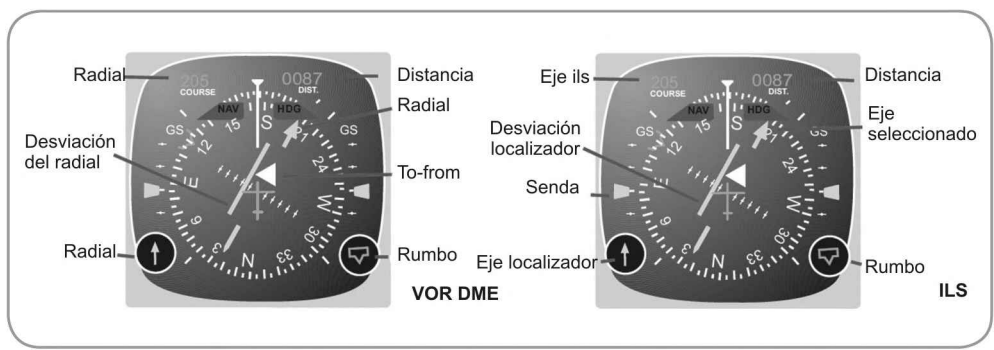


Figura 6.59. HSI (Indicador de situación horizontal).

6.3.13. Sistema de aumento de área local (LAAS: *Local Area Augmentation System*)

Es un sistema de aterrizaje en todo tipo de tiempo basado en las correcciones diferenciales hechas en tiempo real a la señal GPS. Una estación central en el aeropuerto recibe las señales de los receptores locales y formula un mensaje de corrección que es transmitido a los usuarios por VHF. El receptor del avión utiliza esta información para corregir las señales de GPS y establecer un ILS estándar para utilizarlo como aproximación de precisión.

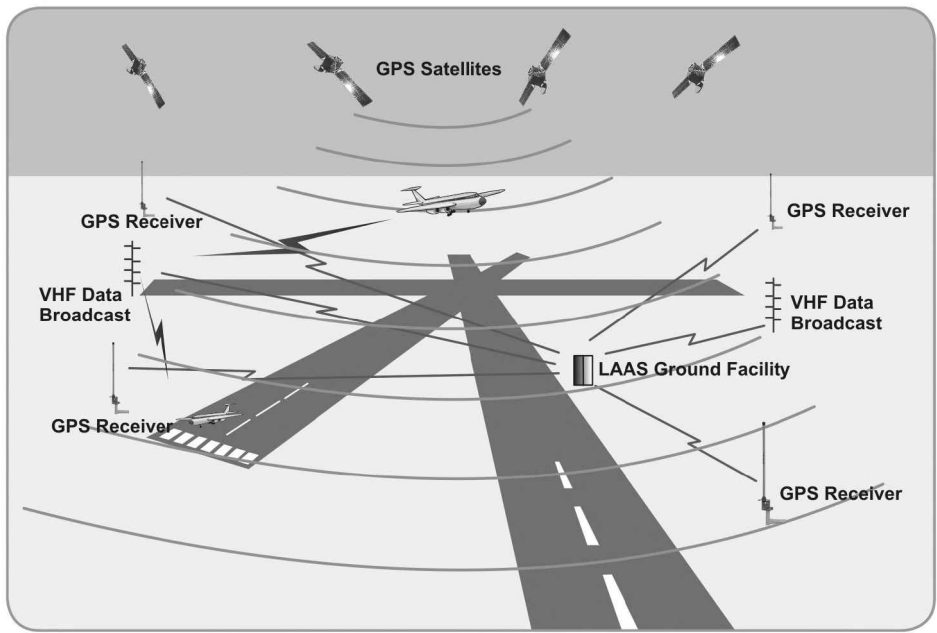


Figura 6.60. Sistema LAAS.

6.4. EQUIPOS DE COMUNICACIONES

Los equipos de comunicaciones de **radio** transmiten en las frecuencias:

- **VHF** (muy alta frecuencia: 118 MHz a 135 MHz), ideal para corto y medio alcance y alta calidad (utilizada normalmente en aviación).
- **UHF** (ultra alta frecuencia: 300 MHz a 3.000 MHz), comunicaciones militares.
- **HF** (alta frecuencia: 3 MHz a 30 MHz) para larga distancia, es decir, para vuelos transatlánticos.

Algunas frecuencias utilizadas normalmente son:

VOR – 108.000 a 117.950 MHz	Ultraligeros – 130.125 MHz
Montaña – 130.000 MHz	Aeropuertos no controlados – 123.50 MHz
General – 123.450 MHz	Emergencia – 121.50 MHz

Las comunicaciones se realizan según la fraseología aeronáutica correcta, procurando que los mensajes sean lo más concisos posible con el fin de contribuir a la máxima utilización del canal de comunicaciones en uso. Para ello el piloto debe asegurarse de que llama a la estación deseada, que esta está libre antes de transmitir su mensaje, debe identificarse y saber lo que va a decir con voz clara y concisa y con las palabras aeronáuticas adecuadas.

Tabla 6.5. Alfabeto fonético.

A	Alfa	M	Mike	Y	Yanqui
B	Bravo	N	November	Z	Zulu
C	Charlie	O	Oscar	0	Zero
D	Delta	P	Papa	1	One
E	Echo	Q	Quebec	2	Two
F	Foxtrot	R	Romeo	3	Three
G	Golf	S	Sierra	4	Four
H	Hotel	T	Tango	5	Five
I	India	U	Uniform	6	Six
J	Juliet	V	Victor	7	Seven
K	Kilo	W	Whisky	8	Eight
L	Lima	X	Xray	9	Nine

Ejemplo: La matrícula del avión EC-GFO se pronuncia: Echo, Charlie, Golf, Foxtrot, Oscar.

En el caso de un fallo en las comunicaciones, existen en los aeropuertos circuitos para aviones sin radio de 500' de altitud sobre el terreno, que quedan a la vista de la torre y un código de señales luminosas. Por otro lado, seleccionando en el responde-

dor el código 7.600, el controlador sabrá que el avión que ve en la pantalla tiene un fallo de comunicaciones y procurará desviar el tráfico que el avión pueda encontrar en su ruta para que llegue a su destino con seguridad.

Tabla 6.6. *Señales luminosas de la torre de control.*

Señal	En tierra	En vuelo
Verde fija	Autorizado a despegar	Autorizado a aterrizar
Destellos verdes	Autorización de rodaje	Regrese para aterrizar
Roja fija	Alto (Stop)	Ceda el paso a otros aviones, continúe volando en círculos.
Destellos rojos	Apártese del área aterrizaje	No aterrice, aeródromo peligroso
Destellos blancos	Regrese al punto de partida	No aplicable
Verde/roja alternas	Extrema precaución	Extrema precaución
Bengala roja		Cualquiera que sean las instrucciones anteriores no aterrice por el momento

Con el fin de comprobar la calidad de las comunicaciones, la torre de control y las aeronaves usan el código:

Código de legibilidad de las comunicaciones:

- 1 – Ilegible.
- 2 – Legible de vez en cuando.
- 3 – Legible con dificultad.
- 4 – Legible.
- 5 – Perfectamente legible.

De este modo, puede establecerse el diálogo:

- Aeronave: Torre de EC-GFO, buenos días.
- Torre: EFO adelante.
- Aeronave: EFO en prueba de radio. ¿Cómo me recibe?
- Torre: Le recibo 5.
- Aeronave: Gracias, buenos días, EFO.

6.5. CABINA DE CRISTAL (GLASS COCKPIT)

El *glass cockpit* es un término anglosajón que significa literalmente «cabina de cristal». Representa una tecnología de gestión y navegación de vuelo que utiliza profusamente la informática, por lo que, con relación a los sistemas analógicos clásicos posee subsistemas con una mayor fiabilidad, un menor volumen y peso y unas mejores actuaciones. Permite el procesamiento de una gran cantidad de datos en tiempo real, y facilita el paso suave y preciso entre los diferentes perfiles de vuelo en la operación de la aeronave y la mejora de la estabilidad y exactitud de los modos convencionales de pilotaje automático.

En el diseño de los aviones tipo Airbus desaparece la palanca o el volante clásico enlazado mecánicamente con los timones y es sustituido por una pequeña palanca lateral (*side-stick*). El conjunto de la cabina se asemeja a la mesa de trabajo de un programador de ordenadores. El comandante y el copiloto tienen cada uno una palanca lateral. Antes, con las palancas clásicas, ganaba el más fuerte, ahora gana el más inteligente, ya que el ordenador no prestará atención a las posiciones de la palanca lateral que induzcan a maniobras peligrosas (pérdidas, velocidad excesiva, etc). Una palanca en los mandos permite retomar el control manual.

Una de las características de la cabina de cristal es el concepto de *fly-by-wire*, término que significa la excitación de los servomotores de las superficies de control con señales eléctricas generadas por un computador digital dirigido por el piloto. En otras palabras, el piloto manda el ordenador y este al avión. El piloto deja de ejercer un control continuo sobre los mandos del avión y pasa a ser un director del vuelo ayudado por el ordenador.

Por otro lado, el ordenador permite la modificación y adaptación continua de las señales de control de ajuste óptimo de las superficies de vuelo, de acuerdo con los criterios desarrollados por el fabricante del avión. Asimismo, aparte de obtener el máximo rendimiento de la aeronave, los pilotos no pueden exceder los límites de operación de vuelo, es decir, entrar en pérdida, efectuar maniobras que sobrepasen los límites estructurales del avión, etc.



Figura 6.61. Cabina de cristal del Airbus A380.



Figura 6.62. Cabina de cristal del Cessna Citation X.

El componente primario es el EFIS (*Electronic Flight Instrument System*), que visualiza toda la información relativa a la situación, posición y progreso del avión abarcando las posiciones horizontal y vertical, el tiempo y la velocidad.

El segundo componente es el EICAS (*Engine Indications and Crew Alerting System*) o ECAM (*Electronic Centralised Aircraft Monitor*), que presenta las condiciones de los sistemas del avión y el rendimiento de los motores.

El sistema de gestión de vuelo FMS (*Flight Management System*) procesa toda una serie de información sobre el comportamiento del avión (velocidad, gasto de combustible, etc.), los datos de navegación y la navegación vertical VNAV de precisión, informa sobre los fallos detectados en vuelo, permite hacer predicciones del tipo *what if*, y presenta los cálculos por duplicado a cada piloto en las diferentes pantallas. Consta del ordenador FMC (*Flight Management Computer*) y de la unidad de control y presentación de datos (CDU).

El piloto introduce el plan de vuelo y los datos de vuelo en la CDU en las varias fases de despegue, crucero y aterrizaje del avión y también la ruta asignada a través de varias ayudas. Hay datos reales que entran automáticamente, como son el gasto de carburante y el nivel de combustible disponible. De este modo, el ordenador FMC presenta la velocidad y el nivel de vuelo óptimos, el alcance máximo, el tiempo máximo de vuelo y la máxima economía, y lo hace a través del ADI (*Attitude Director Indicator*) y el HSI (*Horizontal Situation Indicator*). El ADI se comporta como un horizonte artificial y puede asistir en el ILS (*Instrument Landing System*, sistema de aterrizaje por instrumentos), mientras que el HSI presenta la altitud y régimen de subida y descenso, y la situación del avión a lo largo de la ruta asignada.

Un accesorio es el *head-up display* o HUD, que sitúa en el parabrisas del avión, en la línea visual del piloto, una imagen en el infinito presentando datos tales como el rumbo, la altura, la velocidad, la velocidad vertical de descenso, los parámetros de funcionamiento del motor, etc. Estos datos se superponen con la visión exterior de la pista, sin fatiga visual alguna del piloto, con lo que este puede dirigir toda su atención a la maniobra de aproximación y aterrizaje a un aeropuerto, en especial en los casos de aterrizaje sin visibilidad.



Figura 6.63. Head-Up Display (HUD) de F/A-18C: Fuente: Wikipedia.

En el futuro, el 80% aproximadamente de la aviación general dispondrá de cabinas de vidrio que permitirán vuelos más seguros al incorporar sistemas de vigilancia de tráfico, información de riesgo de colisión con el terreno, autopiloto y la previsión y los datos reales actuales del tiempo atmosférico.

La cabina de vidrio tal como fue introducida inicialmente redistribuyó el trabajo del piloto más que reducirlo, de modo que los pilotos tuvieron que dedicar un tiempo y esfuerzo adicional a aprender la forma de manejar estos sistemas. Al añadirse más tecnología al panel se presentaron una serie de problemas, tales como las sorpresas técnicas por realizar el sistema acciones no esperadas por el piloto, es decir, como si existiera una separación entre el modo mental de operar el piloto y la forma en que el sistema está realmente trabajando.

El piloto, ante el cúmulo de variables del sistema, trabajaba según su percepción del estado del sistema, más que en el estado real. A medida que la complejidad de la cabina de mando se fue incrementando, ocurrió que su percepción se contradecía con el estado real del sistema, de modo que ante una mala interpretación se presentaron problemas en el gobierno del avión, que aumentaban si el piloto no se daba cuenta de su error. Por otro lado, la falta de atención, un insuficiente conocimiento del sistema, una carga de trabajo demasiado alta y el exceso de alarmas simultáneas, agravaron el problema.

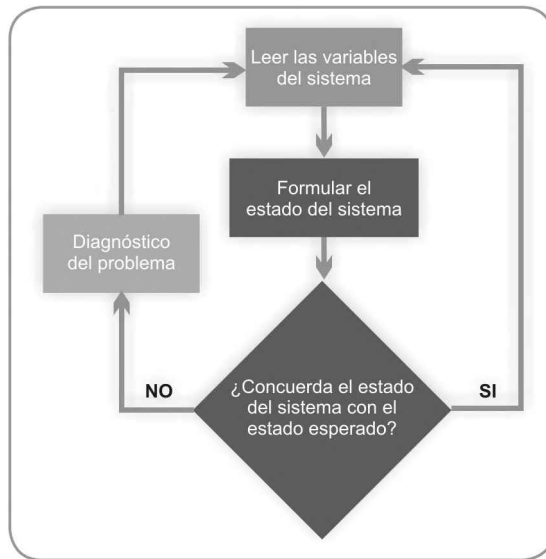


Figura 6.64. Tarea mental de control del piloto.

Sin embargo, los avances tecnológicos del sistema en forma de nuevos sensores, ordenadores y GPS, permiten simplificar las operaciones del avión y la navegación, de forma que el piloto enfoca solamente la información más adecuada en cada momento del vuelo.

Poco a poco, las cabinas de vidrio y los GPS tal como el Garmin G1000 y G900X, se incorporan a la aviación general, por ejemplo, en las avionetas Piper, Cessna, en los aviones Diamond, Cirrus, en aviones en kit, tales como Lancair y Van, y en los ultraligeros. Tienen la ventaja de integrar navegación, comunicaciones, tráfico, seguridad, estado del tiempo, estado del motor, visión del terreno, autonomía de vuelo, etc., reduciendo así el trabajo del piloto y aumentando la seguridad del vuelo.



Figura 6.65. Glass cockpit (panel de vidrio) de la avioneta Cirrus SR-20.

Meteorología

7

7.1. GENERALIDADES

El piloto debe conocer de forma práctica el comportamiento de la atmósfera y sus características, con el fin de realizar vuelos seguros. Un vuelo en condiciones marginales requiere por parte del piloto un alto nivel de conocimiento de la evolución del tiempo con objeto de tomar decisiones correctas y no volar en condiciones que conduzcan a un empeoramiento de la situación.

La información meteorológica puede provenir del satélite Meteosat, de los partes meteorológicos disponibles en las oficinas de ATS. (*Air Traffic Service*), del servicio ATIS (*Automatic Terminal Information Service*), dado por la torre de control, del NOTAM (*Notice to Airmen*) y del servicio VOLMET (TAF, SIGMET y METAR), emitido automáticamente en voz por radio en frecuencias determinadas y que se repite cada hora.

Las frecuencias de emisión VOLMET dependen de cada zona: 127,6 (Barcelona), 126,90 (Madrid), 126,00 (Alicante), Sevilla (127,00), etc., e informan sobre las últimas situaciones en los aeropuertos de la zona en la última hora con indicación de las nubes y su altura, la presión a nivel del mar (QNH), la temperatura, el punto de rocío, el viento en la pista de aterrizaje, etc. Este servicio es muy útil en vuelo.

Las previsiones del tiempo son cada vez más exactas gracias al enorme caudal de información que llega a los servicios meteorológicos.

Desde el punto de vista del vuelo, existen las siguientes condiciones meteorológicas, que están descritas en la Clasificación del Espacio Aéreo:

VMC (*Visual Meteorological Conditions*): condiciones meteorológicas de vuelo visual.

IMC (*Instrument Meteorological Conditions*): condiciones meteorológicas de vuelo instrumental.

7.1.1. La atmósfera

La atmósfera está dividida en las siguientes capas:

- **Troposfera.** Su base es la superficie terrestre y su techo alcanza los 8-10 km en los polos, los 15 km en latitudes medias (45°) y los 18-22 km en el Ecuador. En esta capa se desarrollan los fenómenos atmosféricos, y es donde el piloto realiza normalmente sus vuelos.

La **tropopausa** es la capa que separa la troposfera de la estratosfera y en ella se presentan las corrientes de chorro tan útiles en los vuelos a gran altura. La tropopausa se encuentra más alta en verano que en invierno y tiene pequeñas variaciones diurnas.

- **Estratosfera.** Con anchura entre los 40 y 50 km, gran contenido de ozono y temperatura casi constante de -45°C a -55°C .
- **Mesosfera.** De anchura comprendida entre 30 y 50 km, con un gran contenido de ozono.
- **Termosfera.** De unos 800 km, de anchura donde la temperatura se eleva gradualmente.

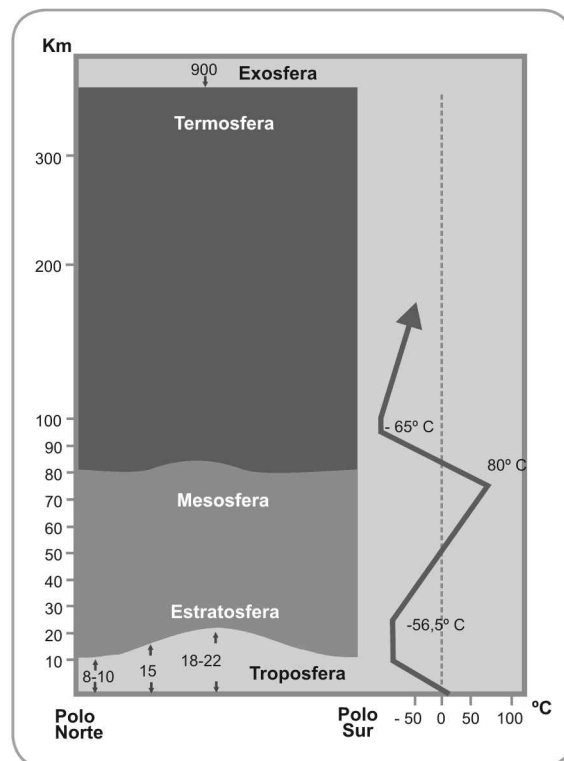


Figura 7.1. Capas de la atmósfera.

- **Exosfera.** Se inicia a partir de los 900 km de altura y en esta zona las moléculas más ligeras de gases se escapan de la atracción de la gravedad de la Tierra y se pierden en el espacio interplanetario.

Composición. La atmósfera es una mezcla de gases y está constituida por:

- Nitrógeno: 78%.
- Oxígeno: 21%.
- Argón: 0,9%.
- Anhídrido carbónico: 0,03%.
- Otros gases – (kriptón, helio, xenón, hidrógeno, amoníaco, ozono, iodo): 0,07%.

Esta proporción se mantiene prácticamente hasta los 70.000'. La zona habitable para el piloto llega hasta los 10.000'. A más altura se requiere oxígeno artificial.

La atmósfera contiene vapor de agua en concentración variable con la temperatura, la altura y el lugar geográfico, y partículas en suspensión de humo, sal, arena fina y cenizas volcánicas que intervienen en la formación de nubes al actuar como núcleos de condensación del vapor de agua.

7.1.2. Medición de la temperatura

La temperatura es el estado de energía cinética de la materia. Se mide mediante termómetros y puede expresarse en dos tipos de unidades, el grado centígrado y el grado fahrenheit, que establecen dos puntos de referencia fijos, la temperatura del hielo fundente y la de ebullición del agua a nivel del mar.



Figura 7.2. Termómetros.

El grado *centígrado* (°C) marca 0 °C para el hielo fundente y 100 °C para el agua en ebullición.

El grado *fahrenheit* (°F) señala 32 °F para el agua en forma de hielo y 212 °F para el agua en ebullición.

La equivalencia entre estas dos unidades es:

$$\frac{F - 32}{C - 0} = \frac{212 - 32}{100 - 0} \quad C = \frac{5}{9} * (F - 32) \quad F = \frac{9}{5} * C + 32$$

Otra unidad es la de la temperatura absoluta (grados *Kelvin*). Un cuerpo con moléculas en reposo (sin agitación térmica) tiene una temperatura de 0 °K, el hielo fundente 273,15 °K, y el agua en ebullición 373,15 °K.

7.1.3. Transferencia del calor

El Sol emite energía en forma de calor radiante, principalmente en la parte visible del espectro (la temperatura de la capa visible del Sol es unos 6.000 °C.), mientras que la radiación reflejada por la Tierra (temperatura media 20 °C), entra en la zona oscura del espectro.

El *ecuador meteorológico* es la línea ecuatorial que separa dos partes energéticamente iguales del globo terrestre. Esta línea varía a lo largo de las estaciones, pues depende de la inclinación con que inciden los rayos solares, que es función de la latitud del lugar y de la estación del año.

El calor recibido por la Tierra es radiado al aire en la zona en contacto con el suelo terrestre. El aire así calentado asciende verticalmente y, por *convección*, calienta las capas de aire que va encontrando a su paso, mezclándose con ellas.

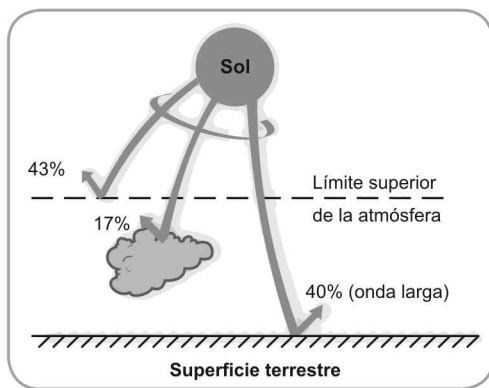


Figura 7.3. Distribución de la energía solar en la atmósfera.

De toda la energía solar que llega a la Tierra, el 20% es absorbido por la atmósfera, el 50% por la Tierra, y el 30% es reflejado al espacio. A su vez, la Tierra, del 50% absorbido de la radiación solar, emite radiación infrarroja, cuyo 20% es reabsorbido de nuevo por la Tierra, mientras que el 50% pasa otra vez a la atmósfera. El 30% sobrante se reparte a su vez en un 25% para el calentamiento del agua del mar y formación de las nubes, y en un 5% para la formación de corrientes atmosféricas.

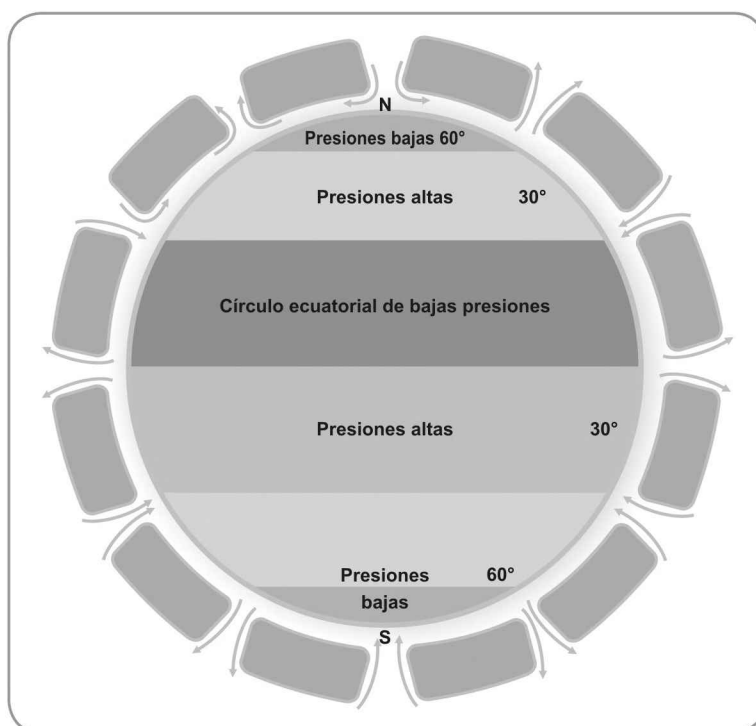


Figura 7.4. *Cinturones de circulación por convección.*

Como el aire es mal conductor del calor, el intercambio de calor por *conducción* entre la Tierra y el aire es despreciable. No obstante cabe considerar la transmisión de calor por *advección* o desplazamiento horizontal del aire, y que es más intenso cuando la circulación de aire se realiza en el sentido de los meridianos. Así, en el ecuador, donde el calentamiento es máximo, el aire húmedo que asciende, se enfría y desciende hacia el paralelo 30°. De forma análoga, en los polos el aire frío desciende, recoge calor y asciende nuevamente hacia el paralelo 60°.

Se forman así zonas de presiones bajas (entre 60° N y 60° S), zonas de presiones altas (entre 30° N y 30° S), y el cinturón ecuatorial de bajas presiones. Estos cinturones de circulación de calor o *cinturones de presión*, son influidos por los vientos y por la rotación de la Tierra.

7.1.4. Medición de la presión atmosférica

La presión atmosférica es causada por el peso de la atmósfera. La presión varía típicamente a lo largo del día con máximos a las 10 y 22 horas y unos mínimos a las 4 y 16 horas (*marea barométrica*). Asimismo, el grado de inclinación de la Tierra durante las estaciones del año provoca unas variaciones de temperatura, debidas a la inclinación de los rayos solares, que influyen en la presión atmosférica. Por otro

lado, el movimiento horizontal de las masas de aire da lugar también a cambios en la presión atmosférica.

Existe una relación entre la presión y la temperatura debida a la densidad del aire. Evidentemente, cuanto más denso (menor temperatura) sea el aire, mayor será el peso de la atmósfera y mayor la presión atmosférica ejercida. Y a la inversa, cuanto menos denso (mayor temperatura), tanto menor será el peso de la atmósfera y menor la presión atmosférica ejercida.

Al ascender, disminuye el peso de la columna de aire atmosférico y baja pues la presión atmosférica. Para la atmósfera estándar la presión baja 1 mb cada 9 m o 30 pies, o bien 1" Hg cada 1.000 pies.

La atmósfera tipo es la atmósfera ideal definida por la OACI (Organización de Aviación Internacional) como la que, a nivel del mar, tiene una temperatura de 15 °C y una presión atmosférica de 1.013,2 mb (29,92 " de Hg) o 760 mm Hg. Al ascender, la temperatura disminuye en 2 °C/1.000 pies (6,5 °C/100 m) hasta una altitud de 36.090 pies (11.000 m), donde es constante e igual a -56,5 °C.

Tabla 7.1. *Atmósfera tipo internacional (ISA) (OACI - 1962).*

Altura (pies)	t °C	mb	" Hg	Altura (pies)	t °C	mb	" Hg
0	15	1013,2	29,92	16.000	-15.7	572	16,89
1.000	14.0	977	28,86	17.000	-17.7	549	16,22
3.000	13.0	942	27,82	19.000	-20.7	506	14,95
4.000	10.1	908	26,82	20.000	-25.6	466	13,76
5.000	8.1	875	25,84	23.000	-29.6	428	12,65
6.000	6.1	843	24,9	25.000	-33.5	392	11,61
7.000	4.1	812	23,98	27.000	-37.5	361	10,64
8.000	1.1	782	23,09	29.000	-40.5	329	9,74
9.000	-0.8	752	22,23	30.000	-45.4	301	8,9
10.000	-3.8	724	21,39	33.000	-49.4	274	8,12
11.000	-5.8	697	20,58	35.000	-53.4	250	7,4
13.000	-7.8	670	19,8	37.000	-56.5	227	6,73
14.000	-9.8	644	19,03	39.000	-56.5	207	6,1
14.000	-11.7	619	18,3	40.000	-56.5	188	5,54
15.000	-14.7	595	17,58				

El primer hombre que midió la presión atmosférica fue el físico Torricelli. Utilizó un tubo de 1 m de longitud y lo llenó de mercurio. Lo tapó con el dedo, lo invirtió y lo situó dentro de una cubeta llena de mercurio. Después quitó el dedo, observando que el mercurio bajaba hasta los 76 cm. Como en la parte superior del tubo existe el vacío y fuera se encuentra el aire atmosférico, la presión ejercida por la atmósfera es:

$$76 \text{ cm mercurio} * 13,6 \text{ gramos/cm}^3 = 1,033 \text{ gramos/cm}^2 = 1 \text{ atmósfera}$$

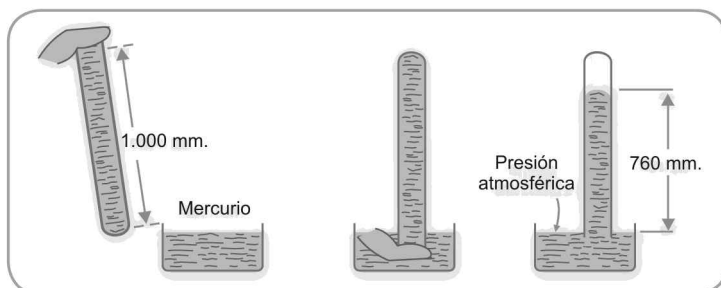


Figura 7.5. Experimento de Torricelli.

El instrumento que mide la presión atmosférica recibe el nombre de barómetro. En aviación se usa como altímetro.

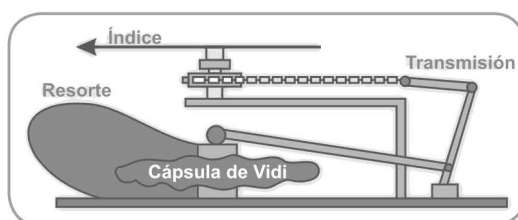


Figura 7.6. Barómetro aneroide.

El *barómetro aneroide* consta de cápsulas de Vidi (en las que se ha hecho el vacío), un mecanismo amplificador, la aguja y la escala.

Se usan varias unidades de medida:

Hectopascal: 100 pascal (1 atmósfera = 760 mm Hg = 1013,2 hPa).

Milímetros de mercurio, que equivale al peso de una columna de mercurio de 1 cm² de sección y un milímetro de altura.

Pulgadas de mercurio, que equivale al peso de una columna de mercurio de 1 cm² de sección y una pulgada de altura.

Milibar, que es la presión que ejercen 1.000 dinas/cm², siendo la dina la fuerza capaz de comunicar a un gramo-masa la aceleración de un centímetro por segundo cada segundo.

La conversión de las unidades de medida se efectúa con las siguientes equivalencias:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mm Hg} &= 1,33 \text{ milibares} &= 0,039 \text{ pulgadas Hg} \\ 1 \text{ milibar} &= 0,75 \text{ milímetros Hg} &= 0,030 \text{ pulgadas Hg} &= 1 \text{ Hectopascal} \\ 1 \text{ pulgada Hg} &= 25,4 \text{ milímetros Hg} &= 33,86 \text{ milibares} \end{aligned}$$

7.2. VIENTOS

Las diferentes masas de aire existentes en la atmósfera están continuamente en movimiento y tienden a mezclarse para igualar sus presiones y temperaturas, por lo que, como consecuencia, se produce el viento. En general, el viento es modificado por la orografía del terreno, por las montañas y por la disposición de las isobaras.

Los distintos tipos de viento son:

- **Calma:** cuando no hay viento.
- **Ráfaga:** cuando el viento es variable en intensidad, la ráfaga representa la intensidad máxima que alcanza. En el aterrizaje, es recomendable aumentar la velocidad de aproximación del avión en la mitad de velocidad de la ráfaga. Por ejemplo, ante un viento de 150/10 (viene de 150° magnéticos con una intensidad de 10 nudos) con ráfagas de 20 nudos, un avión con una velocidad normal de aproximación de 70 nudos (126 km/h) debe aumentarla en la mitad de 20 nudos, es decir, que su velocidad de aproximación segura deberá ser como mínimo de $70 + 10 = 80$ nudos (144 km/h).
- **Turbonada:** recibe este nombre un frente sólido de tormentas que pueden alcanzar los 40.000 pies de altura y que se mueve paralelo al avance del frente entre 50 y 300 millas por delante de él.
- **Vientos de ladera:** la orografía del terreno tiene una clara influencia en la dirección del viento. En el vuelo sobre montañas, el piloto debe tener en cuenta las turbulencias que se crean al chocar el aire contra la montaña. Es muy peligrosa la zona de sotavento por las corrientes descendentes existentes capaces de arrastrar el avión, aunque el piloto dé el máximo de potencia al motor.

En el llamado *vuelo de montaña*, el piloto se entrena volando, a poca velocidad y con poco motor, en la zona de ladera de barlovento para aprovechar la corriente de aire ascendente. Es mejor volar en esta zona de barlovento que en medio del valle donde pueden existir corrientes impredecibles, y en caso de problemas en la ladera el piloto siempre puede escapar con un picado y virando hacia el valle.

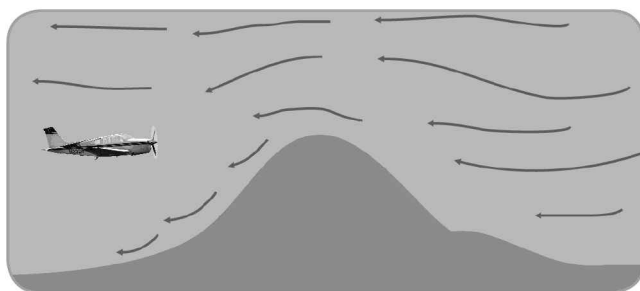


Figura 7.7. Viento orográfico.

Su práctica es útil en el caso de tener que pasar una cadena de montañas de gran altura en las que el motor ya no puede dar más potencia por la baja densidad del aire. La regla general en un vuelo de travesía sobre montañas es volar alto y rápido.

La *cizalladura* (viento cortante o *windshear*) consiste en un cambio rápido en la dirección y en la intensidad del viento que se presenta verticalmente y en muy poco espacio. Puede ser provocada por la orografía del terreno, por edificios, etc., y representa un peligro para la aviación en las maniobras próximas al suelo (despegue y aterrizaje). El piloto debe extremar las precauciones aumentando la velocidad del avión, en particular en el aterrizaje. Existen instrumentos que señalan con una cierta anticipación la posibilidad de cizallamiento y que trabajan con informaciones procedentes de la velocidad, actitud, aceleraciones, sensores de ángulo de ataque, etc., del avión, y si esa información no es normal activan una alarma acústica y luminosa.

La *turbulencia en aire claro* (TAC o CAT: *Clear Air Turbulence*) consiste en turbulencias muy fuertes invisibles para el piloto, indetectables en el radar, que no están ligadas ni con montañas ni con nubes y que están relacionadas con la presencia de montañas elevadas o con las corrientes de chorro al pasar el avión de una masa de aire que se mueve con una velocidad de 10 a 20 nudos a una corriente de chorro de 100 nudos. Afortunadamente para el piloto de avioneta estas turbulencias se presentan en alturas de 23.000 a 39.000 pies cerca de la tropopausa.

Fuerza del viento. Los vientos pueden ser desde muy suaves hasta los más violentos presentes en un tornado (columna de viento). Afortunadamente son raros en nuestras latitudes. La escala de Beaufort cuantifica los efectos del viento y fue creada por el almirante Beaufort para su uso en el mar.

En las maniobras de despegue y aterrizaje en un aeropuerto, el controlador proporciona a los pilotos la velocidad del viento y su dirección. Por ejemplo, viento 30°, 10 nudos, ráfagas de 15 nudos.

7.2.1. Gráficos de isobaras

La presión atmosférica es registrada en las cartas sinópticas, de tal modo que, uniendo los puntos de igual presión, se obtienen curvas llamadas *isobaras*. Estas se dibujan de 5 en 5 milibares.

Los *gráficos de isobaras* contienen:

- Bajas presiones (B), con las isobaras formando líneas cerradas que van disminuyendo de presión hacia el interior.

En el hemisferio norte y en la zona de bajas presiones, el viento circula paralelo a las isobaras y en el sentido contrario al de las agujas del reloj.

- Altas presiones (A), con las isobaras en forma de líneas cerradas que van aumentando de presión hacia el interior.

En el hemisferio norte y en la zona de altas presiones, el viento circula paralelo a las isobaras y en el sentido de las agujas del reloj.

Las *colinas barométricas o collados (c)* constituyen el área comprendida entre dos altas y dos bajas presiones, distinguiéndose porque los límites de las isobaras de dicha área tienen la forma de dos hipérbolas.

Las *zonas de depresión barométrica*, llamadas también *vaguada, surco, o depresión en V (b)*, consisten en una serie de isobaras muy próximas, agrupadas en cajón, con forma de V, y con valores decrecientes de las presiones del exterior al interior.

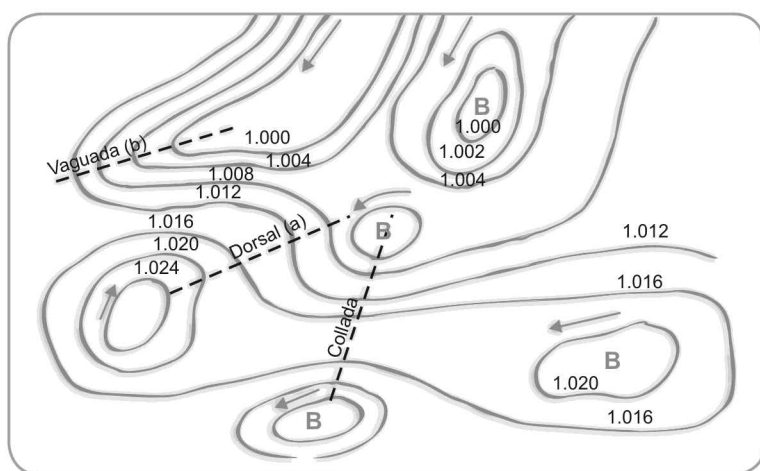


Figura 7.8. Isobaras (hemisferio norte).

Los *dorsales de alta presión o lomas* son las inversas de las zonas de depresión barométrica. Se caracterizan porque la presión es más alta en el eje de la loma que en los lados de dicho eje. Se denominan también *cuñas anticiclónicas* por la forma en que penetran entre dos bajas presiones. Se representan con la letra a y tienen el aspecto de una U invertida (silla de montar).

Cuanto más juntas estén las isobaras más fuerte será el viento en la zona.

Las cartas de altura proporcionan información sobre el estado vertical de la atmósfera con diversas superficies isobáricas que corresponden a presiones y alturas determinadas. Las superficies más comunes son las de 850, 700, 500, 300 y 200 mb. Sobre ellas se traza una familia de líneas que representan una altitud constante, llamada *isohipsas*. El uso de las cartas de altura permite tener una visión del mapa de la atmósfera con los frentes, la gota fría, las borrascas, etc.

Ley de Buys-Ballot

Esta ley dice que un observador situado en el hemisferio norte, con los brazos extendidos y de espaldas al viento, señalará, con su mano izquierda, la zona de bajas pre-

siones, mientras que con la derecha indicará las altas. En el hemisferio sur ocurre al revés. Confirma que en el hemisferio norte, en una zona de bajas presiones el viento gira en el sentido contrario a las agujas del reloj.

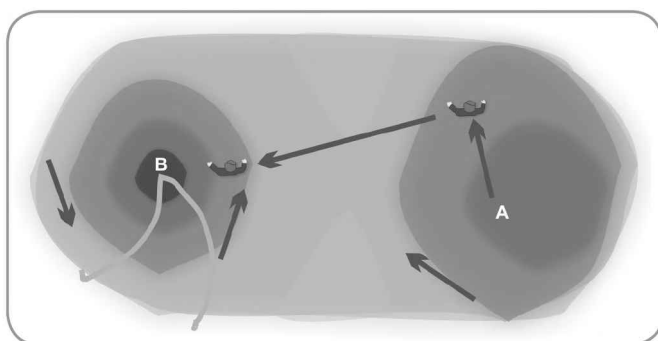


Figura 7.9. Ley de Buys-Ballot.

La ley es de aplicación general, es decir, que está sujeta a los efectos locales orográficos del lugar, por lo que conviene comprobar la información meteorológica pertinente.

7.2.2. Efecto de la rotación de la Tierra: fuerza de Coriolis

Coriolis fue un matemático francés (1795-1843) que observó que un objeto de masa m que se desplaza con velocidad angular constante w , experimenta una velocidad tangencial (velocidad angular \times radio de giro) tanto mayor cuanto mayor es su alejamiento del centro. Si el objeto se va alejando gradualmente del centro, la variación de su velocidad comportará una *aceleración*, la que a su vez es debida a la existencia de una *fuerza* sobre la masa del objeto. Estas son respectivamente la *aceleración* y la *fuerza de Coriolis*.

Por ejemplo, situando una bola de acero en un disco giratorio lleno de grasa, que actúa como freno, en su parte superior, y haciéndolo girar, la bola describe una línea curva hasta salir del disco. Durante su recorrido, tiene una velocidad tangencial igual a la velocidad angular del disco multiplicada por la distancia al centro de giro. Esta velocidad tangencial va aumentando a medida que la bola se aleja del centro del disco, lo que, tal como se ha dicho, evidencia la existencia de una aceleración, y por lo tanto de una fuerza.

A medida que las masas de aire que se mueven en los cinturones de presión de la Tierra van descendiendo desde el norte hacia el ecuador, el aumento de velocidad debido al incremento del radio de giro demuestra que existe una aceleración, la que a su vez es debida a una fuerza (la de Coriolis). Esta fuerza es la que arrastra a dichas masas de aire y contribuye a la circulación global de los vientos del oeste en el cinturón $30^\circ \text{ N} - 60^\circ \text{ N}$ y de los vientos alisios en el cinturón $0^\circ - 30^\circ \text{ N}$.

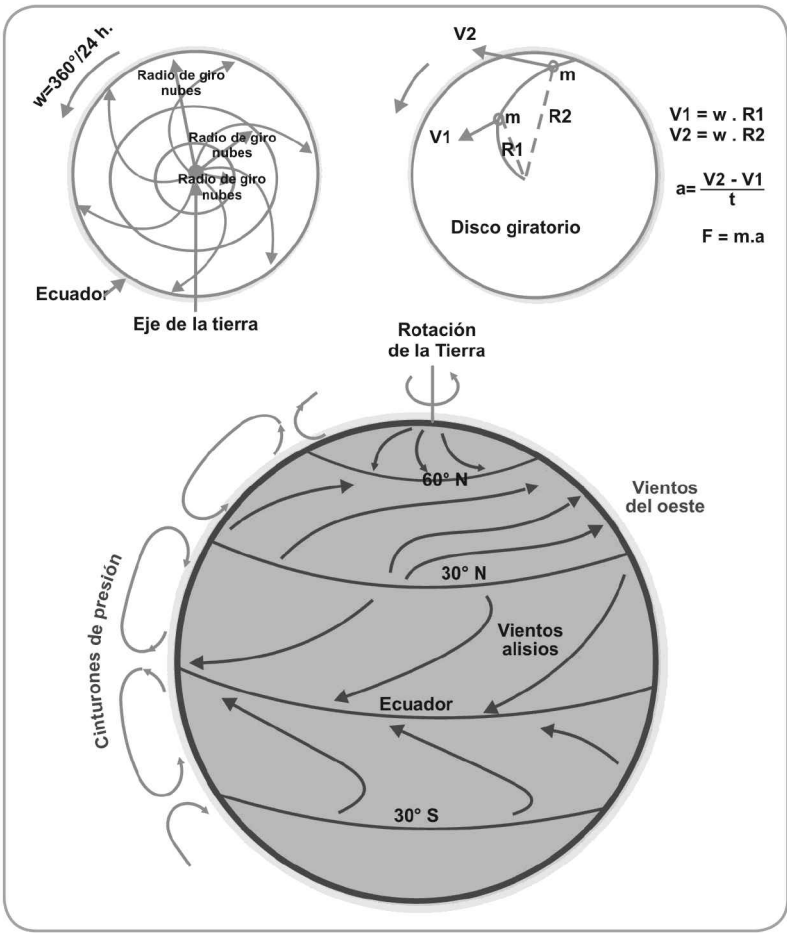


Figura 7.10. *Fuerza de Coriolis.*

Como dato curioso, el fenómeno de Coriolis es el responsable de que al vaciar un depósito se forme un remolino con sentido a derechas en el hemisferio norte y a izquierdas en el hemisferio sur.

7.2.3. Viento de gradiente, viento geostrófico

Una serie de isobaras rectilíneas situadas en el hemisferio norte generan un viento acelerado en una dirección perpendicular a las isobaras, desde la alta presión a la baja. Esta aceleración de las masas de aire, combinada con la aceleración de Coriolis, resulta en una aceleración inclinada, perpendicular a la trayectoria de la masa de aire. A medida que esta masa va cruzando las isobaras, y lo hace cada vez a mayor velocidad por ser un movimiento acelerado, se irá inclinando cada vez más, ya que, en todo momento, la aceleración de Coriolis continúa siendo perpendicular al movimiento de la masa de aire.

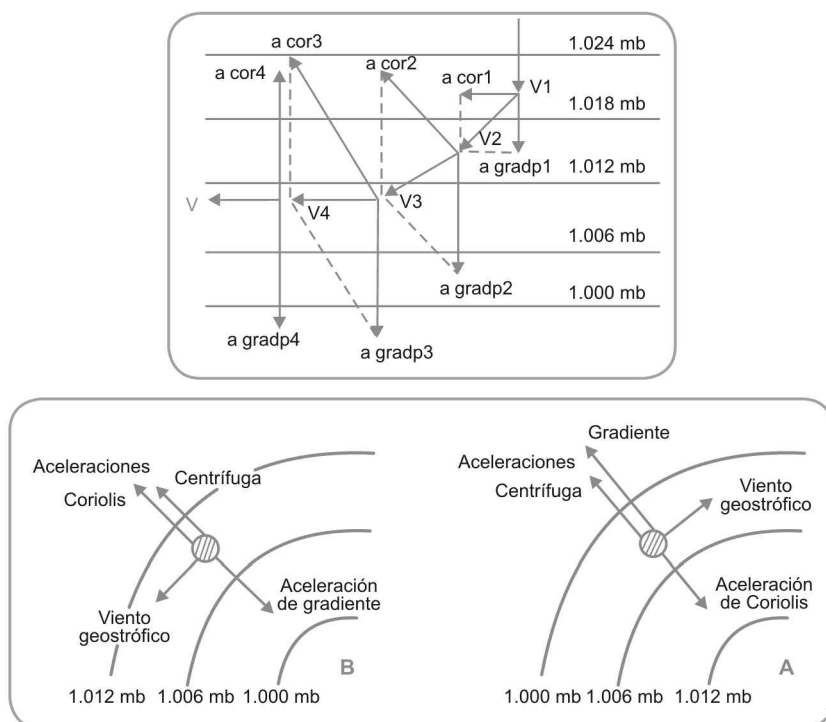


Figura 7.11. *Viento de gradiente y viento geostrófico.*

El proceso continúa hasta que las dos aceleraciones citadas son opuestas y se anulan mutuamente, quedando como resultante la velocidad final alcanzada por la masa de aire, y de sentido paralelo a las isobaras, que es el *viento geostrófico*.

Cuando las isobaras son curvas, las masas de aire tienen una aceleración adicional centrífuga, que combinada con la de Coriolis, genera la *aceleración de gradiente* que da lugar al *viento de gradiente*. En la práctica, el viento de gradiente y el geostrófico son casi iguales, aplicando solo una corrección por curvatura al viento de gradiente si su radio es pequeño.

7.2.4. Sistemas prevalentes en la presión en el mundo

Los sistemas de altas y bajas presiones presentan mundialmente, combinaciones bastante complejas, que son objeto de un estudio constante.

En el mundo existen zonas con una actividad atmosférica definida y constante durante meses. Por ejemplo, el anticiclón de las Azores (1.025 milibares), los vientos del oeste, los vientos alisios en el hemisferio norte y los monzones y los alisios en el ecuador. Los cinturones de circulación de calor por convección combinados con la fuerza de Coriolis establecen la disposición de las corrientes en las zonas mundiales de altas y bajas presiones (vientos alisios y vientos del oeste).

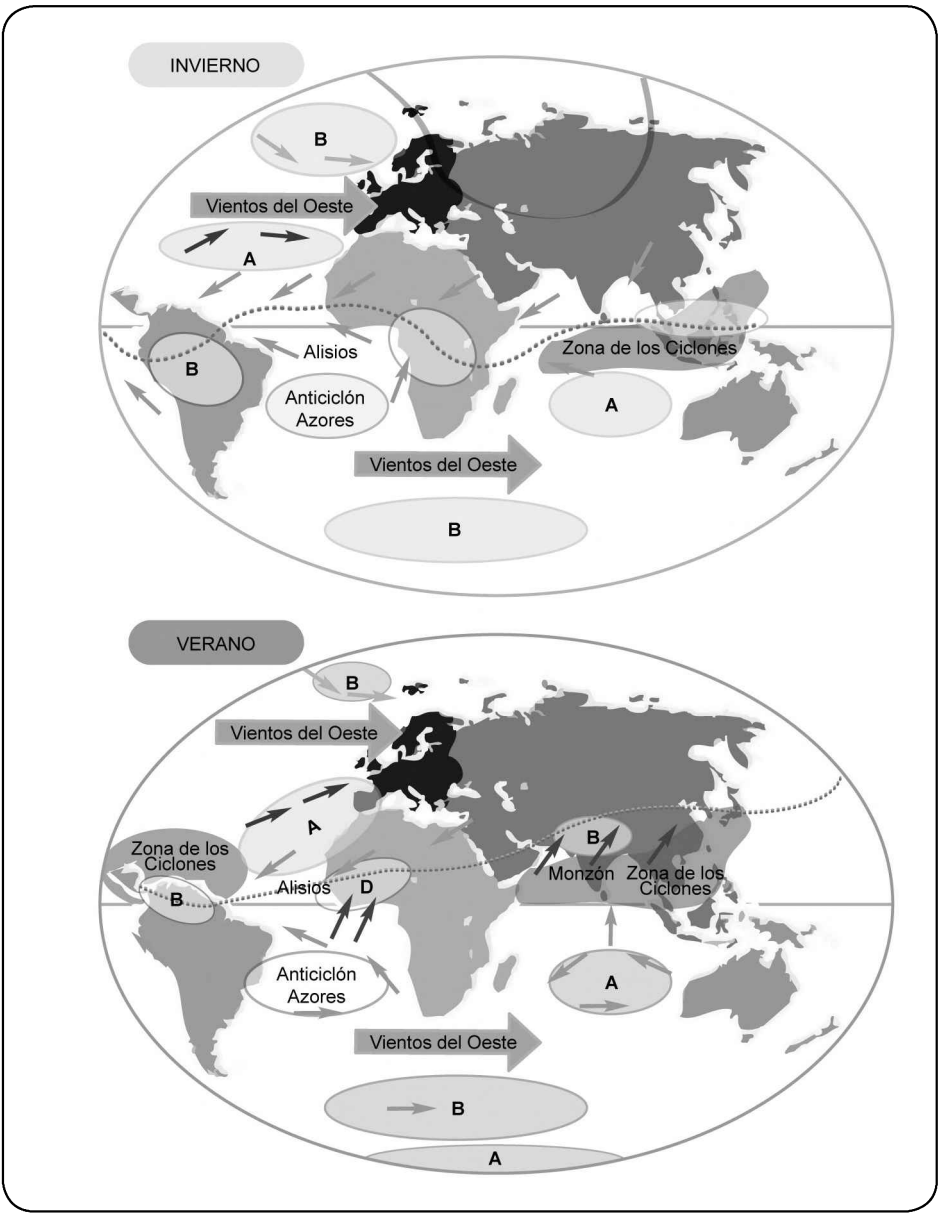


Figura 7.12. Zonas mundiales de altas y bajas presiones.

7.2.5. Efectos locales del viento en la superficie

El viento, al soplar sobre los accidentes orográficos del terreno, produce los fenómenos siguientes:

- Una cima redondeada genera ascensiones sin turbulencias.

- Un viento suave, al chocar sobre aristas montañosas, así como con obstáculos abruptos (casas altas, etc.), genera vientos rotores (que giran sobre sí mismos). Si el viento es fuerte se producen turbulencias.
- Los salientes pueden generar turbulencias fuertes en la cima y fuertes descendencias.
- En el fondo de una depresión montañosa la turbulencia es fuerte.
- Un viento laminar genera turbulencias al chocar contra terrenos de pendiente pronunciada.
- El aire caliente laminar fluyendo sobre un valle con aire frío inmóvil puede producir cizallamiento.

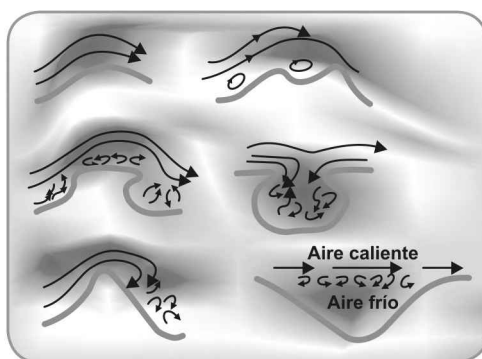


Figura 7.13. Efectos locales del viento en la superficie.

Brisas de la costa/mar. Son vientos locales flojos que soplan desde el mar hacia la costa. Durante el día la tierra se calienta por el sol más rápidamente que el mar, con lo que el aire caliente asciende y deja una depresión.

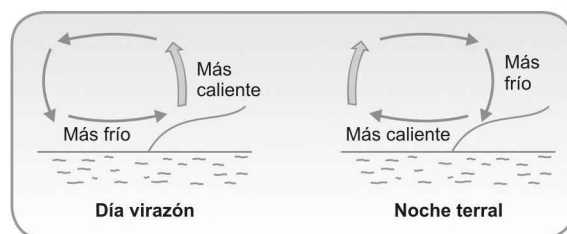


Figura 7.14. Brisas de la costa-mar.

Se establece así una corriente de aire desde el mar (temperatura más fría) a la tierra (temperatura más caliente) que se llama virazón. En cambio durante la noche la tierra se enfría más rápidamente que el mar y la corriente de aire es inversa, desde la tierra hacia el mar. Esta corriente de aire se denomina terreal.

Vientos de montaña/valle. De forma análoga se crean las corrientes entre la montaña y el valle. Durante el día se calientan más las laderas de la montaña que el suelo del valle, por lo que el aire caliente de la montaña asciende hacia arriba creándose una pequeña baja presión relativa en la ladera, mientras que el aire comparativamente más frío que está alto sobre el valle desciende y comprime el aire pegado al valle, haciéndolo subir por las laderas de la montaña para ocupar la baja presión de la ladera, cerrándose así el sistema de circulación del aire (brisa de valle).

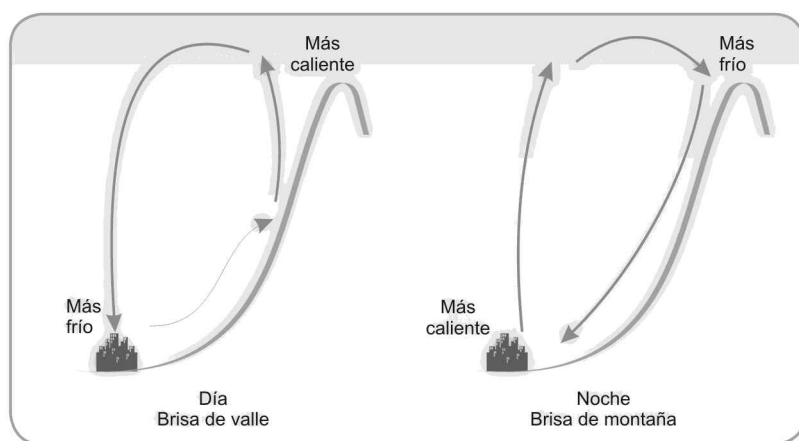


Figura 7.15. *Brisas de montaña–valle.*

Por la noche se enfrían más rápidamente las laderas de la montaña y el aire comparativamente más caliente que está sobre el valle, asciende verticalmente, mientras que el aire más frío de la montaña desciende hacia el valle (brisa de montaña).

Viento térmico. En un valle, durante las horas cálidas del día, se calienta más una ladera de la montaña que la otra, por el distinto ángulo de incidencia de los rayos solares. Como resultado, el aire caliente asciende y es sustituido por aire frío que desciende de la ladera opuesta. El aire caliente que ha ascendido, al llegar al punto más alto de la montaña puede condensar su humedad en forma de nubes, con lo que al descender por la ladera de sotavento estará seco y caliente (viento foehn). Por la noche se invierte el proceso y ahora, el aire de la ladera de la montaña que durante el día se había calentado, se enfría más rápidamente que el del valle, con lo que desciende (puede condensar y provocar nieblas) y hace ascender el aire del valle.

7.2.6. Ondas de montaña

La *onda de montaña* es un tipo de onda estacionaria que puede aparecer cuando una masa de aire a gran velocidad choca contra una cadena de montañas. Las condiciones que deben darse son una alta velocidad del viento, de un mínimo de 20 nudos, un elevado gradiente de velocidad del viento (cizalladura) y una inversión de temperatura entra la cima de la montaña y la zona de altura mínima de 15.000 pies (5.000 m).

La poca frecuencia con que se presenta la onda de montaña puede inducir al piloto a no reconocerla. Sin embargo, tiene las siguientes características peculiares:

- Siempre que la humedad del aire sea alta, se forman, a barlovento, nimbostratos (Ns) o cumulonimbos (Cb), y a sotavento, una nube que está pegada a la cresta de la montaña y que descende hacia el valle (muralla de föhn).
- Formación de una *nube rotor*, que asciende varios miles de metros por encima de la cima de la montaña. Es muy turbulenta, con ascensiones y descensiones que llegan a los 5.000 pies/minuto.

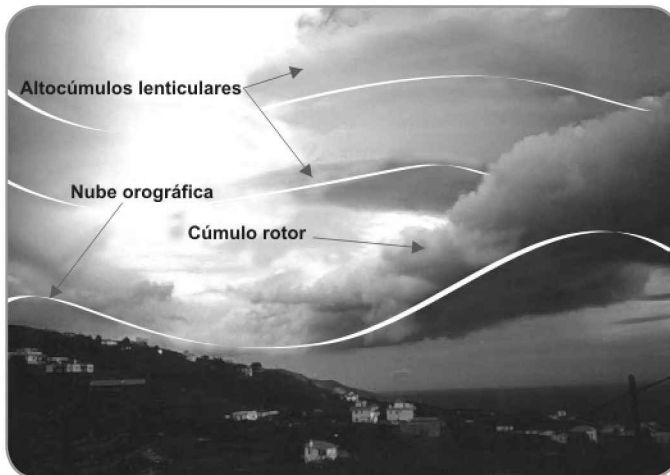
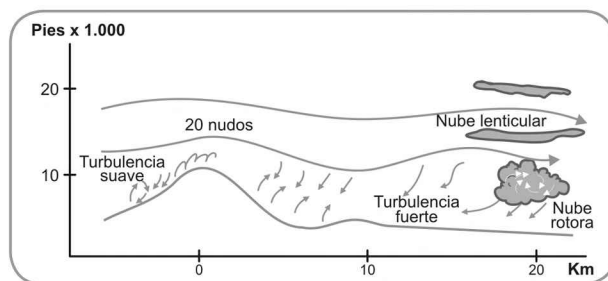


Figura 7.16. Onda de montaña. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología – Canarias Occidental.

- Formación de *altocúmulos de forma lenticular* (como lentejas) a una altura comprendida entre los 4 y los 9 km de altura. Se forman en la cresta de la onda y se deshacen por calentamiento en las descendencias.
- Ondas *fuertes* de amplitud constante con una longitud de 8-20 km, una amplitud de 3-4 km. y una velocidad vertical de 30-60 m/s.
- Ondas *débiles* con una longitud de 2-5 km, una amplitud de 0,5-1 km y una velocidad vertical de 5-15 m/s.

Si la onda de montaña después de formarse en la cadena montañosa encuentra más adelante otra montaña, puede entrar en resonancia y aumentar de amplitud.

7.2.7. Notificación de la velocidad del viento

En aviación, el viento se le proporciona al piloto según su dirección e intensidad. La dirección, es decir, el punto de donde viene el viento, se da en grados magnéticos con el fin de que el piloto pueda compararla con la dirección de la pista desde donde va a despegar o aterrizar.

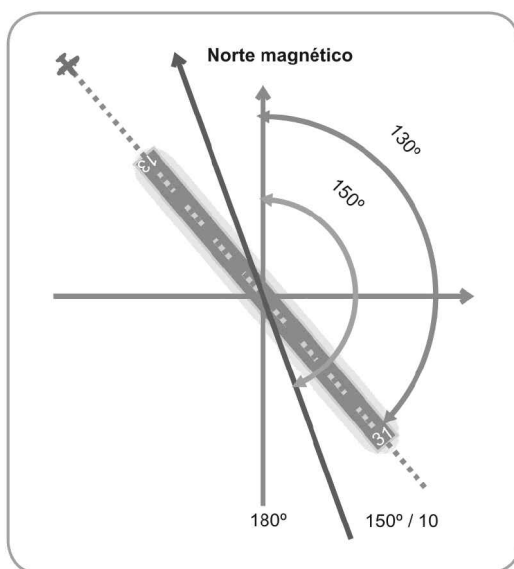


Figura 7.17. Dirección e intensidad del viento.

La intensidad se da en nudos (millas/hora). Por ejemplo, un viento de 150/10 dado al piloto que va a aterrizar en la pista 13 (130°) le indica que va a tener un viento de 10 nudos y que le va a venir desde 20° a la derecha de la pista 13.

7.2.8. Corriente de chorro

Es una corriente de eje casi horizontal, estrecha y de gran velocidad situada en la tropopausa o en la alta estratosfera, que se caracteriza por la gran variación de velocidad horizontal y vertical (cizalladura). Puede alcanzar los 268 nudos (480 km/h). Su longitud es de varios miles de km, tiene una anchura de cientos de km y altura de varios km.

La cizalladura vertical (variación vertical de velocidad del viento) es de 4 a 7 nudos/1.000 pies y la cizalladura horizontal de 10 nudos/60 NM (millas náuticas). A veces, el paso del chorro puede verse si choca contra nubes de gran altura, tales como los cirros, y los deforma alargándolos en forma de olas.

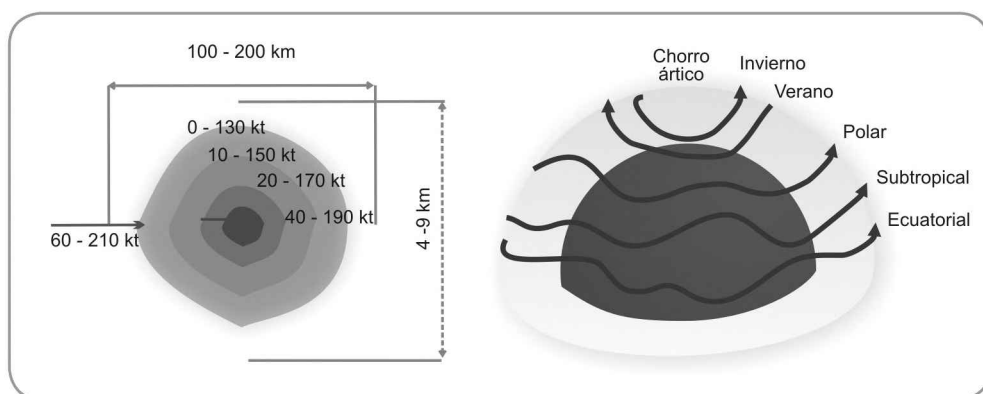


Figura 7.18. Corriente de chorro (jet stream).

Existen cuatro corrientes de chorro importantes: *polar*, *subtropical*, *ecuatorial* y *ártico*. Como ejemplo típico, el chorro polar se forma en invierno en el borde frontal de una masa de aire polar que penetra en una masa de aire cálido del sur. En invierno el chorro se encuentra localizado en latitudes bajas y en verano pasa al norte.

La fuerte variación de temperaturas en el chorro, origina turbulencias muy fuertes que se conocen como *turbulencias de aire claro* (TAC o CAT: *Clear Air Turbulences*) y que son invisibles al piloto.

7.3. NUBES

Las nubes están constituidas esencialmente por minúsculas gotitas de agua y se forman cuando una masa de aire húmedo caliente asciende y se va enfriando gradualmente. Al alcanzar la temperatura correspondiente al nivel de condensación, el vapor de agua que contiene puede formar minúsculas gotitas, o sublimar en pequeños cristales, o bien congelar en esferitas de hielo, o bien puede presentar una mezcla de estos procesos. Se libera así un calor de condensación (600 calorías/gramo) que calienta el aire provocando movimientos ascensionales que soportan el conjunto de la nube.

Por otro lado, el tamaño (0,002 a 0,2 mm de diámetro) y el peso de las gotitas de agua de la nube es tan pequeño que su velocidad de caída libre en el aire en calma es de unos 5 mm/hora, y hasta que no se juntan millones de gotitas de nube no se llega al tamaño de una gota (5 mm de diámetro) que la nube ya no puede sostener. Asimismo, el principio de Arquímedes explica también cómo se sostiene la nube, ya que el peso del volumen de aire que desplaza es igual o un poco mayor que el peso de la propia nube.

La nube puede disiparse por calentamiento del aire. Si baja por corrientes verticales descendentes y encuentra una mayor temperatura, las minúsculas gotitas de agua se evaporan y la nube se deshace.

Los procesos de formación de las nubes son:

- **Atmosférico:** cualquier bolsa de aire caliente que entre en contacto con aire de una región más fría se enfriará y condensará, formándose una nube.
- **Orográfico:** el aire se ve obligado a ascender a barlovento por la ladera de una montaña, hasta llegar al nivel de condensación, donde alcanza la saturación.
- **Convectivo:** en una masa de aire inestable se crean corrientes de aire ascendentes que al subir por convección llegan hasta el nivel de condensación, a partir del cual la nube formada empieza a crecer (nube convectiva).
- **Convergente:** cuando las corrientes de aire convergen en una zona determinada, la masa de aire se ve constreñida y obligada a ascender y si más arriba existe divergencia de corrientes, el aire en ascenso se expandirá en altura, con lo que se enfría y llega al nivel de condensación formándose la nube.

Las nubes pueden clasificarse en dos grandes formas:

- **Cumuliformes (o en montones)**, que presentan un aspecto típico globular con la dimensión vertical mucho mayor que la horizontal. Se forman por el ascenso de una masa de aire húmedo que se va enfriando, alcanza el nivel de condensación y sigue ascendiendo formando la nube con el vapor de agua condensado. Son:

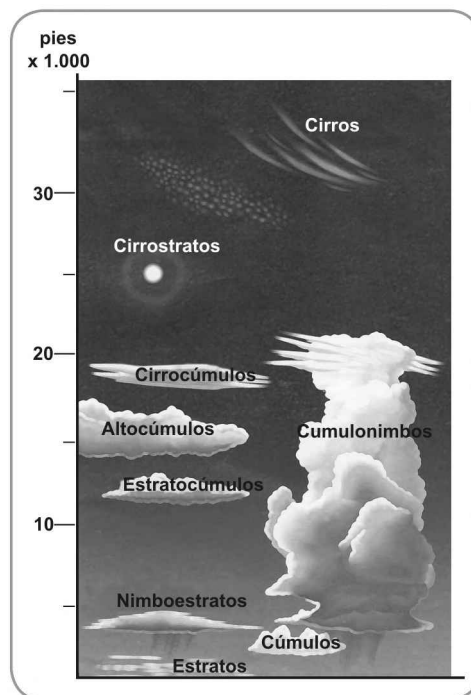


Figura 7.19. *Tipos de nubes.*

- *Cúmulos (Cu)*: nubes separadas de contornos densos y definidos que se desarrollan en forma de montañas o de torres, siendo su base horizontal. Su aspecto recuerda al de una coliflor. Su altura varía desde 11.000 pies (3.352 m) a 47.000 pies (14.325 m). Existen dos tipos de cúmulos, el cumulus humilis, de poco desarrollo, y el cumulus congestus, en cuyo interior existen corrientes ascendentes y turbulencias. Como son claramente visibles, el piloto las puede rodear fácilmente.
- *Alto cúmulos (Ac)*: constituidas por gotitas de agua y/o hielo y formadas por láminas, masas redondeadas y cilíndricas (como guijarros) de color blanco o gris.
- *Cirrocumulus (Cc)*: capas delgadas blancas (cielo aborregado) formadas por pequeños gránulos, dispuestos con una cierta regularidad.
- **Estratiformes (o en capas)**, que semejan extensos velos, mantos o bancos estratificados que pueden tener un gran espesor pero con la dimensión horizontal mucho más grande que la vertical. Se forman por el desplazamiento (advección) de una masa de aire caliente y húmedo sobre una superficie o masa de aire fría que provoca la condensación del vapor de agua que transportan. Son:
 - *Estratos (St)*: constituidas por gotitas de agua. Son las nubes más bajas y de aspecto más uniforme que se parecen a la niebla, con una base semejante a un techo, pero sin tocar el suelo.
 - *Altostratos (As)*: capas fibrosas delgadas a través de las cuales se puede percibir vagamente el sol, pero sin que produzcan halo.
 - *Cirrostratos (Cs)*: velo blanquecino transparente de aspecto fibroso, que produce fenómenos de halo.

Algunas nubes pueden presentar un gran espesor:

- *Nimbostratos (Ns)*: constituidos por gotitas de agua y/o cristales de hielo. Son espesas y de aspecto difuso y color gris oscuro. Son típicos del mal tiempo y pueden descargar lluvia o nieve y producir engelamiento.
- *Cumulonimbus (Cb)*: nubes potentes de gran desarrollo vertical, cuya parte superior se extiende en forma de yunque. Su altura varía desde 10.000 pies (3.048 m.) a 60.000 pies (18.288 m). *El piloto debe evitar a toda costa penetrar en su interior*, debido a las importantes corrientes verticales así como a las descargas eléctricas, a la fuerte precipitación y a la formación de hielo y granizo que presentan.

Otras nubes no corresponden a estas descripciones. Son:

- *Estratocumulus (Sc)*: cubierta continua de pliegos y capas irregulares blanquecinas con manchas oscuras (como guijarros).
- *Cirros (Ci)*: filamentos blancos de aspecto fibroso.

7.4. FRENTE

Las masas de aire son volúmenes de grandes dimensiones (mínimo 1.500 km) que se forman en manantiales (marítimo, continental, polar, tropical, ecuatorial), se mueven desde su origen y cuando a veces se encuentran originan fenómenos atmosféricos típicos conocidos como «frentes», nombre bélico dado por meteorólogos noruegos en la primera guerra mundial.

- **Frente frío**, en el que una masa de aire frío penetra a nivel del suelo dentro de la masa de aire caliente, haciéndola ascender. Como consecuencia, al llegar al nivel de condensación, se forman cumulonimbos que engendran tronadas breves (duración unas 2 horas) pero violentas (etapas de cúmulos, maduración y disipación). Se originan precipitaciones muy intensas y de corta duración por el desplazamiento del frente. Este tiene una longitud de unos 1.000 km y anchura de 50 a 70 km. Si se atraviesa es mejor hacerlo perpendicularmente. Existe formación de cumulonimbos que el piloto debe rodear. Las lluvias intensas, típicas del frente, pueden reducir la visibilidad a cero. Si el avión tiene la suficiente autonomía, una espera de una hora puede mejorar las condiciones atmosféricas.

Se representa por un triángulo de color azul apuntando hacia la dirección del frente. La línea del frente está dibujada en azul.

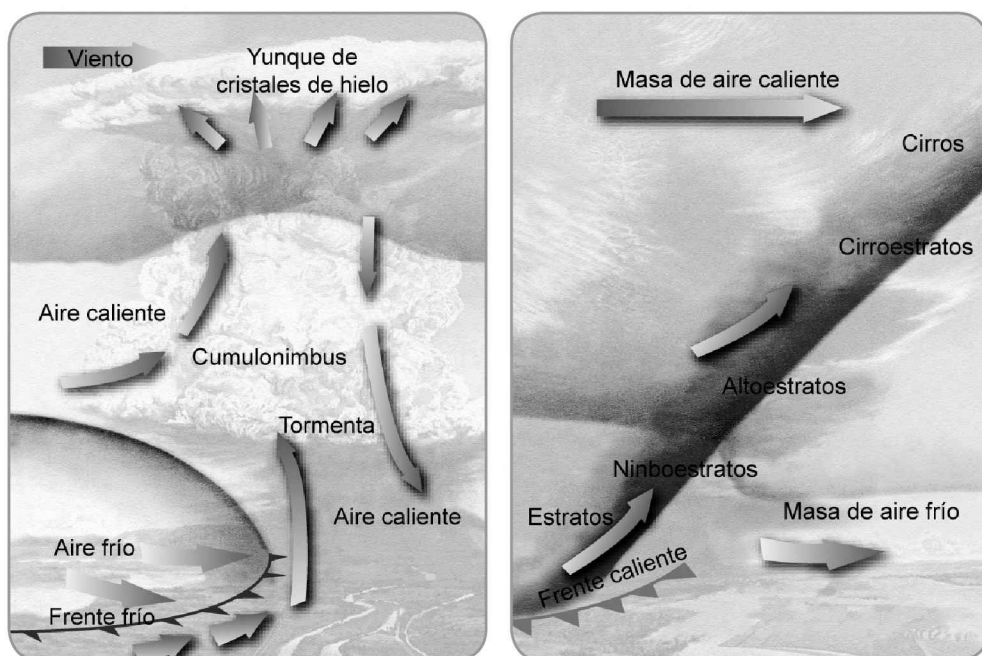


Figura 7.20. Frentes frío y caliente.

- **Frente caliente**, en el que la masa de aire caliente asciende sobre la masa de aire frío cabalgando sobre ella a veces hasta unos 1.500 km. Como consecuencia, en la franja de conflicto se forman cirros y cirroestratos en su parte superior y finalmente nimboestratos junto al suelo, acompañados de una tempestad de lluvias. Después siguen estratos de baja altura, que producen solamente lloviznas. Durante 6 a 24 horas persisten la pérdida de visibilidad y los techos bajos, y existe el riesgo de engelamiento en el seno de nimboestratos por lluvia con agua superenfriada que se congela instantáneamente al paso del avión (formándose cencellada blanca o hielo granular fácil de desprender). Si no puede volarse a suficiente altura, se carece de equipos antihielo, y el avión no tiene la suficiente autonomía (el frente tiene una longitud de 1.000 km), lo mejor es cancelar el vuelo.

Se representa por un semicírculo de color rojo dibujado sobre la línea del frente (color rojo) y en el sentido de desplazamiento del frente.

En ocasiones el aire caliente que asciende es tan inestable que delante del frente, paralelo a él y a una distancia de 50 a 300 millas se forma una barrera nubosa de cumulonimbus que pueden alcanzar los 40.000 pies de altura. Se llama línea de *turbonada* y produce fuertes chubascos, rachas de viento y gran aparato eléctrico.

- **Frente ocluido**, es la coexistencia entre un frente frío y un frente cálido, moviéndose más rápidamente el primero, con lo que las condiciones son similares a las de un frente frío. El caso de un frente cálido ocluido es menos frecuente. La nubosidad es mucho mayor en la oclusión caliente que en la fría. Volando por delante del frente ocluido las condiciones de vuelo son parecidas a las de un frente caliente, mientras que volando por detrás, el piloto se encontrará con las condiciones de vuelo del frente frío.

Se representa por los dos símbolos alternados del frente frío y el frente caliente.

- **Frente estacionario**, en el que el movimiento frontal del frente se detiene, con lo que el tiempo puede ser malo durante varios días.

7.5. PELIGROS DEL VUELO DENTRO DE LAS NUBES

Los peligros que aguardan al piloto dentro de la nube son:

Pérdida del contacto visual con la tierra. Es grave en un vuelo visual y en un avión monomotor. La pérdida de posición puede forzar al piloto a consumir el combustible volando sobre las nubes. Es recomendable que pida ayuda inmediata al control de tierra, que con el respondedor pueden guiarle hasta un aeropuerto o hasta una zona en tierra o en el mar donde pueda perforar las nubes con seguridad. Si en estas condiciones se produce un fallo de motor se verá forzado a descender perforando las nubes,

sin saber lo que va a encontrar debajo o dentro de la propia nube. Lo fundamental es continuar volando el avión y creer lo que indican los instrumentos, sin hacer caso de las propias sensaciones, para evitar así la desorientación espacial.

Turbulencia. El piloto debe evitar por todos los medios penetrar dentro de un cumulonimbus, ya que en su interior existen corrientes de aire que pueden llegar hasta los 60 m/seg, sometiendo el avión a mas g (factor de carga) de los previstos por el fabricante, pudiendo provocar fallos estructurales o una pérdida del control del avión. Además, es probable la formación de hielo y granizo. Los cúmulos también deben evitarse en lo posible, no presentan formación de hielo ni granizo, pero las corrientes verticales son fuertes y el vuelo es muy incómodo. Los estratocumulus pueden producir turbulencias debido a las térmicas. En estas condiciones de vuelo, la velocidad debe reducirse al nivel de la recomendada en aire turbulento.

Fuertes turbulencias se encuentran en las ondas de montaña, dentro de la nube lenticular y la nube rotor. Son peligrosas para el piloto, particularmente por la poca frecuencia con que se presentan, que pueden inducirle a no reconocer este tipo de nubes.

Granizo. No siempre está presente en la tormenta y suele caer fuera de la nube donde no existen corrientes ascendentes. Si su tamaño es mayor de 2 cm puede llegar a romper el parabrisas y abollar el borde de ataque del ala.



Figura 7.21. Daños por granizo en parabrisas avión Boeing 727. Fuente: Capital Cargo Airlines.

Englamiento. Cuando el avión atraviesa una zona nubosa con gotitas de agua superenfriada o lluvia helada, puede formarse hielo que se adhiere en los bordes de ataque de las alas y de la hélice, en el parabrisas, en el tubo Pitot y en las antenas de comunicaciones.

De todos modos, si el avión es rápido (con lo que calienta térmicamente el aire por rozamiento) y lleva un buen equipo antihielo, el poco tiempo que va a estar dentro de un cumulonimbus hace que el engelamiento no sea un problema importante. Sin embargo, lo mejor que puede hacer el piloto es virar 180° y regresar al campo de salida o aterrizar en uno alternativo.

La formación de hielo en las alas cambia su perfil y disminuye la sustentación (también aumenta la carga alar), con lo que es posible que la potencia del motor no sea suficiente para continuar el vuelo. Además, el hielo puede recubrir las antenas, con lo que se pierden las comunicaciones, y puede obturar el tubo Pitot, con lo que el piloto puede quedarse sin indicación de velocidad, a no ser que el avión disponga de calefacción del tubo Pitot. Las hélices afectadas por la formación de hielo pierden propulsión con el agravante de que al desprenderse parte del hielo por la fuerza centrífuga, afecta su equilibrio originando intensas vibraciones.

El vuelo en estas condiciones y entre nubes debe apoyarse necesariamente en los instrumentos giroscópicos (horizonte artificial, coordinador de viraje, giro direccional). Los aviones volando en estas condiciones deben estar equipados con equipos antihielo o desheladores en las alas, la hélice, la toma de aire, el tubo Pitot y el sistema de combustible.

Los equipos antihielo se conectan antes de entrar en la zona de posible formación de hielo, mientras que los equipos desheladores están diseñados para eliminar el hielo una vez este se ha formado. Los sistemas más utilizados en aviación general son los de fundas neumáticas y de fluidos (alcohol, etc.) que bajan el punto de congelación. Otros sistemas son eléctricos y se aplican en los parabrisas y en las hélices.

Los equipos desheladores neumáticos se sitúan en el borde de ataque de las alas y de la cola, y consisten en tubos de goma flexible inflables, que al ser activados se inflan y desinflan, rompiendo el hielo adherido. Pero si no son utilizados con el hielo ya formado, pueden generar una cámara de aire entre su posición de expansión máxima y la superficie del hielo, lo que impide el desprendimiento de este.



Figura 7.22. *Formación de hielo en alas avión. Fuente: NASA Glenn Research Center.*

Los tipos de hielo presentes en las nubes son:

- Hielo opaco (*rime*), o hielo granular de aspecto denso y rugoso presente en nubes altas y medias (estratiformes y en los frentes cálidos) y en áreas de llovizna helada, a temperaturas que pueden llegar a los $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se forma por la congelación instantánea de gotitas de agua superenfriada al entrar en contacto con la estructura del avión y se acumula en el borde de ataque de las alas. Este tipo de hielo no presenta gran adherencia y se desprende fácilmente mediante el equipo antihielo. En tierra se puede desprender con la mano.
- Transparente o claro (*clear*). Hielo vítreo que se encuentra dentro de las nubes medias y bajas (cumuliformes o en el seno de lluvia helada) a temperaturas entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, y que se forma progresivamente sobre el perfil del ala desde el ángulo de ataque hasta el borde de salida, sobre los timones de cola, la hélice, las antenas, siendo muy difícil eliminarlo debido a que forma placas sólidas sin burbujas de aire embebidas que debiliten su estructura. El hielo cambia la forma del ala y aumenta la resistencia al aire en un 300% a 500%.
- Escarcha (*frost*), que es hielo semicristalino que, volando en aire claro, cubre la superficie del avión por sublimación. En vuelo no tiene demasiada influencia pero recubre el parabrisas, y la antena, interfiriendo con las comunicaciones. Los aviones aparcados al aire libre en noches claras y frías, están cubiertos por escarcha por la mañana. Este hielo debe ser eliminado de las alas y de las superficies de control antes del despegue, ya que altera las características aerodinámicas del ala, aumentando la velocidad de pérdida y reduciendo la tasa de ascenso. También es posible que la pérdida de calor ocasionada por la carrera de despegue congele cualquier rastro de humedad o de nieve en las alas.

Rayos. Si el avión es metálico y va equipado con descargadores de estática (alas y cola), la caída de un rayo no presenta peligro, pero puede dañar a los equipos eléctricos si es potente (por ejemplo, la inutilización de la brújula y de la radio). La posición de los rayos ayuda al piloto para conocer si la tormenta está en etapa de desarrollo: relámpagos verticales de nube a tierra indican que la tormenta está en la etapa de maduración, mientras que si los relámpagos son horizontales dentro de la nube, esta está en estado de disipación.

El resplandor del rayo ciega momentáneamente al piloto durante 30 a 50 segundos, impidiendo que pueda leer los instrumentos durante este periodo. La probabilidad del rayo aumenta si la temperatura exterior está entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Antes de la descarga del rayo el piloto debe iluminar la cabina al máximo para evitar deslumbramientos. La inminencia de caída del rayo se evidencia por los fuegos de San Telmo (filetes o gallardetes de tonalidad azul o verdosa que aparecen en la ventanilla) que traducen la gran diferencia de potencial eléctrico existente entre el avión y las nubes.

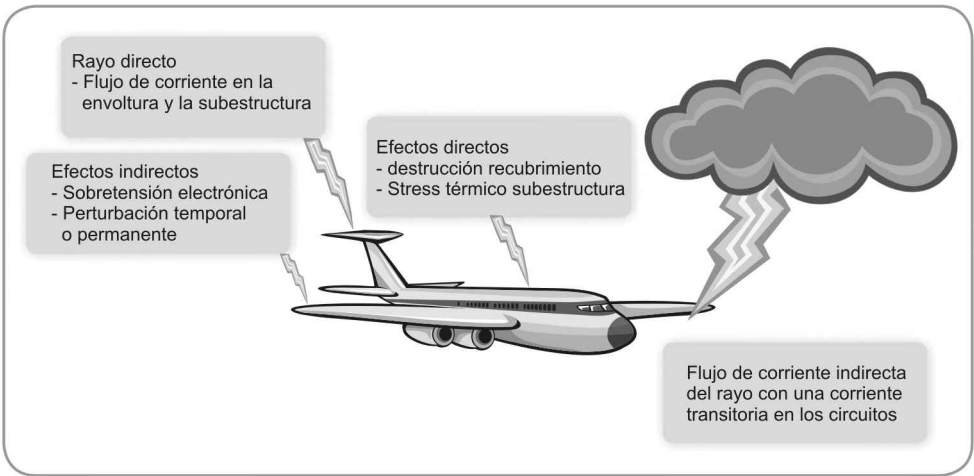


Figura 7.23. Caída de un rayo en un avión y fuego de San Telmo. Fuente: CCA Argentina.

7.6. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Las claves de uso más frecuente son METAR, GAFOR, TAFOR, SNOWTAM, SIGMET, CARTAS DE TIEMPO SIGNIFICATIVO y las emisiones VOLMET y ATIS.

Los símbolos utilizados son:

Símbolos

ACT	(Active)	= Activo
BKN	(Broken)	= Cielo nublado con claros (4 a 6/8)
CAT o TAC	(Clear Air Turbulence)	= Turbulencia en aire claro
CAVOK	(Ceiling and Visibility Okey)	= Cielo despejado y visibilidad óptima
CNS	(Continuous)	= Continuo
FEW	(Pocos)	= 1 a 2/8

FRQ	(Frequent)	= Frecuente
GRADU	(Gradual)	= Gradual
INTSF	(Intensifying)	= Intensificándose
ISOL	(Isolated)	= Aislado
LYR	(Layer)	= Capa
OVC	(Overcast)	= Cielo cubierto (8 octavos)
SCT	(Scattered)	= Nubes dispersas (menor de 4/8 cubriendo menos del 50% del cielo)
SKC	(Sky Clear)	= Cielo claro (0/8)
SLOW	(Slow)	= Lento
STF	(Stratiforms)	= Estratiformes
WKN	(Waken)	= Debilitándose

Las claves METAR (*Meteorological Aviation Routine*) son un mensaje normal de las condiciones meteorológicas existentes en los diferentes aeropuertos, y se emiten cada 30 minutos.

Ejemplo de METAR:

AA LEGE 151600 30010G20 9999 SCT15 OVC60 2010 1018 NOSIG

AA	= METAR
LEGE	= Aeropuerto con su indicativo OACI (Gerona)
151600	= Informe emitido el día 15 a las 16:00 horas Z
30010G20	= Viento viniendo de 300° 10 nudos, rachas (gust) de 20 nudos
9999	= Visibilidad de más de 10 km
SCT15	= 3 a 4 octavos de nubes dispersas cubierto con la base de nubes a 1.500 pies
OVC60	= Cielo cubierto (8/8) con la base de nubes a 6.000 pies
2010	= Temperatura de 20 °C y punto de rocío de 10 °C
1018	= QNH de 1.018 mb
NOSIG	= No se esperan cambios significativos (<i>no significant change</i>).

El conjunto 9999 SCT15 OVC60 2010 1018 NOSIG puede sustituirse por el término CAVOK (*Ceiling And Visibility OK*), que significa:

- Visibilidad igual o mayor que 10 km.
- Capa más baja menor de 4/8 y la base a más de 5.000 pies o superior a la altitud mínima de sector, si este fuese superior a 5.000 pies.
- No hay cumulonimbus.
- No hay precipitaciones ni tormentas.

El GAFOR (*General Aviation Forecast*) es la información de la previsión meteorológica para la aviación general.

Ejemplo de GAFOR:

GAFOR LEGE 1022 AAAA 41 MMM

LEGE = aeropuerto con su indicativo OACI (Gerona).

1022 = informe emitido a las 10:22 horas Z.

AAAA = información dada en periodos de 2 horas.

41 = subárea de predicción.

MMM = marginal durante las seis horas.

La predicción es válida para un tiempo de 6 horas dividido en periodos de 2 horas.

El TAFOR (*Aerodrome Forecast*) es la información meteorológica en las próximas horas (entre 9 h y 24 h) para unos aeropuertos determinados.

El SNOWTAM es la información meteorológica referente al hielo en pista. Es válida para un tiempo máximo de 24 horas. Proporciona el grado de contaminación de la pista:

- 10% si es inferior al 10%.
- 25% si está entre 11 y 25%.
- 50% si está entre 26 y 50%.
- 100% cuando va del 51% al 100%.

Y el tipo de nieve: seca, mojada, compactada, fundente.

El SIGMET es la información meteorológica en ruta que puede afectar la seguridad de vuelo de las aeronaves. Incluye tormentas activas, ciclón tropical, línea de turbulencia fuerte, granizo fuerte, turbulencia fuerte, engelamiento fuerte, ondas orográficas fuertes, tempestades extensas de arena/polvo, nubes de cenizas volcánicas.

Las cartas de TIEMPO SIGNIFICATIVO presentan la información meteorológica sobre una zona de la tierra con las zonas de altas y bajas presiones, los frentes, las zonas de engelamiento, las áreas de turbulencia y otros datos. La información consignada en la carta sirve al piloto para conocer el tiempo que va a encontrar en la ruta de vuelo. La información está extraída de las fotografías hechas desde satélites y la preparan los centros regionales de pronóstico de área. Hay tres modelos:

- SWH (*Significant Weather High*): por encima del nivel de vuelo FL250.
- SWM (*Significant Weather Medium*): entre los niveles FL100 y FL250.
- SWL (*Significant Weather Low*): por debajo del nivel de vuelo FL100.

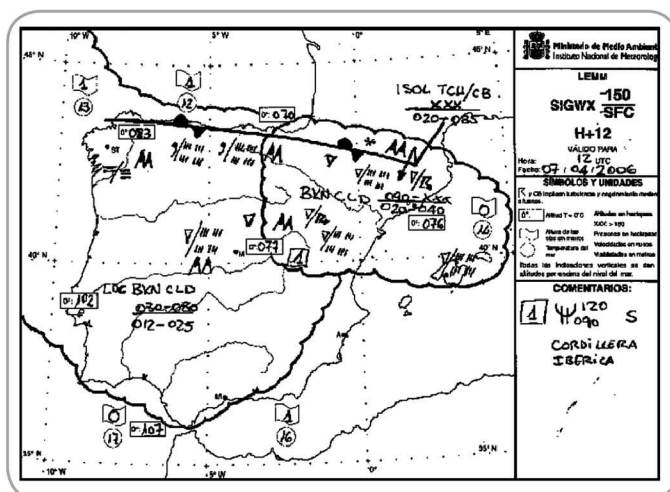


Figura 7.24. Mapa de tiempo significativo.

Existen las siguientes emisiones meteorológicas:

VOLMET, que es la información meteorológica METAR emitida para las aeronaves en vuelo por la frecuencia VHF. En Madrid es de 126,90 y da el tiempo de Madrid, Sevilla, Málaga, Barcelona, Valencia, Alicante, Lisboa, Porto, Burdeos. En Barcelona es de 127,6 MHz y da el tiempo de los aeropuertos próximos (Barcelona, Girona, Palma de Mallorca, Ibiza, Menorca, Reus, Marsella, etc.).

ATIS (*Automatic Terminal Information Service*), que es el servicio automático de información del área terminal. Información meteorológica grabada y emitida por frecuencia VHF para las aeronaves que entran o las que salen de un aeródromo, que termina con una letra clave (alfabeto de la OACI) para que el piloto confirme a la frecuencia de aproximación/torre del aeródromo que ha leído el mensaje:

Madrid-Barajas información de llegada, DELTA, a las 09:00 Z.

Pista de aterrizaje 33

Nivel de transición 70

Información meteorológica: viento 150° / 10 nudos

Visibilidad 3000

Temperatura 20

Punto de rocío 8

Nubes ...

... (otros datos de información meteorológica) ...

NOSIG

Información de llegada DELTA, terminada.

Para obtener la información meteorológica adecuada el piloto puede acudir a la oficina meteorológica local, llamar por teléfono, oír las emisiones VOLMET en la frecuencia VHF o comunicarse por radio con la oficina meteorológica.

Existe para el piloto de aviación general el servicio del Instituto Nacional de Meteorología AMA (Autoservicio Meteorológico Aeronáutico) que proporciona los informes y pronósticos meteorológicos actualizados (existentes y previstos), de área y de aeródromos:

- Informes METAR, SPECI, TAF y SIGMET, de los principales aeródromos de los países integrados en la Comunidad Europea, Suiza y norte de África.
- Informes GAMET y AIRMET, mapas de viento y temperatura a diferentes niveles, y mapas de tiempo significativo en ruta de la península Ibérica, Baleares y Melilla, elaborados por el Instituto Nacional de Meteorología para la Aviación General.

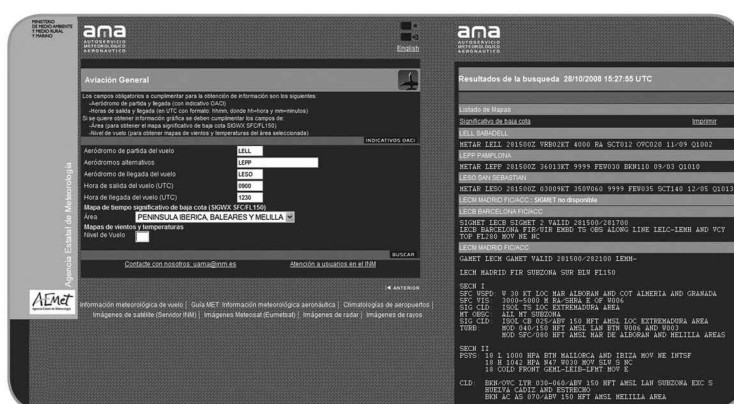


Figura 7.25. AMA (Autoservicio Meteorológico Aeronáutico). Ruta LELL (Sabadell) - LESO (San Sebastián).

Y como información complementaria:

- Indicativos OACI de países, FIR y aeródromos, así como a los indicativos IATA.
- Guía de descodificación de la Información Meteorológica Aeronáutica.
- Climatologías aeronáuticas de 45 aeródromos españoles.
- Mapa de localización de las descargas eléctricas nube-tierra en la península Ibérica durante las últimas 12 horas.
- Información de la red de radares del Instituto Nacional de Meteorología, actualizada cada 30 minutos.
- Últimas imágenes disponibles de los satélites meteorológicos.

Espacio aéreo y derecho aeronáutico

8

8.1. INTRODUCCIÓN AL DERECHO AÉREO

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) creó el Convenio sobre Aviación Civil Internacional en Chicago, en el que participaron 52 estados, y que fue firmado el 7 de diciembre de 1944. El Convenio de Chicago es la base del Derecho Aéreo y en esencia controla el tráfico aéreo, evitando las colisiones, proporciona información a los pilotos y asegura los servicios de socorro y salvamento. Le acompañan una serie de anexos relativos a aspectos tales como el reglamento del aire, la operación de aeronaves, los servicios de tránsito aéreo, etc.

8.2. REGLAS DE VUELO

Existen dos tipos de reglas de vuelo: VFR (*Visual Flight Rules*) Visual e IFR (*Instrument Flight Rules*) Instrumental.

El piloto con habilitación VFR vuela siguiendo los aspectos característicos del terreno y se mantiene distante visualmente de las nubes y de los otros aviones. El vuelo debe realizarse en condiciones VMC (*Visual Meteorological Conditions*), que dependen del espacio aéreo en que se encuentre el avión. El piloto es responsable de las incidencias que puedan presentarse en vuelo.

El piloto con habilitación IFR debe seguir las autorizaciones de control y va notificando su paso sobre puntos determinados (radiofaros, etc.). Puede volar en condiciones meteorológicas difíciles (entre nubes, de noche). El control de tierra tiene la responsabilidad de separar los aviones en distancia y altura.

Para evitar abordajes en vuelo, cuando dos aviones están en ruta de colisión, se establecen las siguientes reglas, parecidas a las que existen en tierra y en el mar:

- Cuando dos aeronaves van a chocar de frente, cada una debe virar a su derecha.
- Una aeronave que alcance a otra más lenta, debe sobrepasarla por la derecha.

- Una aeronave en vuelo tiene prioridad sobre las aeronaves en tierra.
- Los aviones de motor deben ceder el paso a los dirigibles, planeadores y globos.
- Los dirigibles deben ceder el paso a los planeadores y globos.
- Los planeadores deben ceder el paso a los globos.
- Los aviones de remolque (veleros, propaganda) y/o los aviones volando en formación tienen prioridad sobre los otros aviones.

8.3. CLASIFICACIÓN DEL ESPACIO AÉREO

El crecimiento del tráfico aéreo ha obligado a las autoridades aeronáuticas a reglamentar el uso del espacio aéreo con el fin de garantizar la seguridad en los vuelos. Como el espacio tiene tres dimensiones, ha sido necesario dividirlo en una serie de volúmenes destinados a los dos tipos de vuelo VFR e IFR.

Tabla 8.1. Clasificaciones del espacio aéreo. Fuente: AIP España, 14/2/2008.

Clase	Espacio aéreo	Vuelo	Separación	Servicios	Limitaciones velocidad	Radio	Autorización ATC
A	Controlado	Sólo IFR	Todas las aeronaves	ATC Control tráfico aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Sí
B	Controlado	IFR	Todas las aeronaves	ATC Control tráfico aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Sí
		VFR	Todas las aeronaves	ATC Control tráfico aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Sí
C	Controlado	IFR	IFR/IFR IFR/VFR	ATC Control tráfico aéreo	No se aplica	Continúa en ambos sentidos	Sí
		VFR	VFR/IFR	ATC para separación IFR. Información de tránsito VFR/VFR (asesoramiento anticolidión a solicitud)	250 nudos IAS por debajo de FL 100	Continúa en ambos sentidos	Sí
D	Controlado	IFR	IFR/IFR	ATC, incluso información de tránsito VFR (y asesoramiento anticolidión a solicitud)	250 nudos IAS por debajo de FL 100	Continúa en ambos sentidos	Sí
		VFR	Ninguna	ATC, e información de tránsito VFR/VFR y VFR/IFR (y asesoramiento anticolidión a solicitud)	250 nudos IAS por debajo de FL 100	Continúa en ambos sentidos	Sí
E	Controlado	IFR	IFR/IFR	ATC e información tránsito VFR en la medida de lo posible	250 nudos IAS por debajo de FL < 100	Continúa en ambos sentidos	Sí
		VFR	Ninguna	Información tránsito en la medida de lo posible	250 nudos IAS por debajo de FL < 100	No	No

Clase	Espacio aéreo	Vuelo	Separación	Servicios	Limitaciones velocidad	Radio	Autorización ATC
F	Servicio asesoramiento	IFR	IFR/IFR siempre que sea factible	Asesoramiento de tránsito e información de vuelo	250 nudos IAS por debajo de FL < 100	Continua en ambos sentidos	No
		VFR	Ninguna	Información de vuelo	250 nudos IAS por debajo de FL < 100	No	No
G	Servicio información de vuelo	IFR	Ninguna	Información de vuelo	250 nudos IAS por debajo de FL < 100	Continua en ambos sentidos	No
		VFR	Ninguna	Información de vuelo	250 nudos IAS por debajo de FL < 100	No	No

(Reglamento (CE) No 551/2004 DEL PARLAMENTO EUROPEO de 10 de marzo de 2004 relativo a la organización y utilización del espacio aéreo en el cielo único europeo.)

Dentro del espacio aéreo se encuentran las siguientes zonas de control:

- **Zona de tránsito de aeródromo (ATZ: *Aerodrome Transit Zone*)**. Tiene jurisdicción dentro de un cilindro con base un círculo de centro el aeropuerto y de radio 5 millas, y de altura no inferior a 1.000 pies (normalmente 3.000 pies) sobre el terreno.
- **Control de aproximación (APP: *Approach*)** que coordina el tráfico IFR que se aproxima a la zona de control y también puede coordinar los tráficos IFR y VFR.
- **Zona de control (CTR: *Control Zone*)** de tránsito aéreo que une el control local de torre con el de aproximación. En los aeropuertos de Barcelona y Gerona tiene un radio de 12 millas y abarca desde la superficie (SFC) hasta el nivel de vuelo FL 75.
- **Área de control terminal (TMA: *Terminal Control Area*)**, que abarca desde 1.000' sobre el punto más alto del terreno hasta un techo casi ilimitado. Comunica las aerovías con las zonas de control (CTR). La de Barcelona está entre 6.000' SFC (sobre el terreno) y el nivel FL 195 y 2.000' sobre el mar (*oversea*) y FL 195.
- **Regiones de información de vuelo (FIR: *Flight Information Region*)**. Abarcan desde la superficie de la tierra o del agua hasta 24.500 pies, aunque después, para los aviones de reacción, se ampliaron con la *región superior de información de vuelo*, sin límite vertical definido, pero con servicio de control de tráfico hasta los 46.000 pies, algo más de 15 kilómetros de altitud. Se dividen en espacio aéreo controlado y espacio aéreo no controlado.

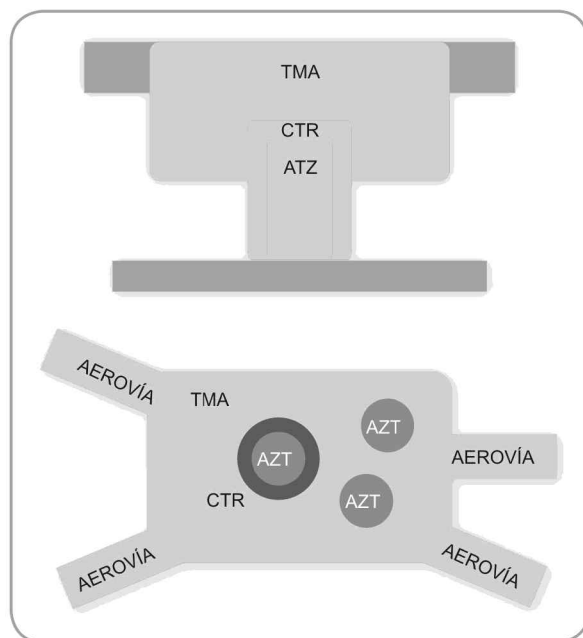


Figura 8.1. Zonas de control y espacios aéreos no controlados.

- **Otros tipos de espacio aéreo no controlado.**
- **Zona peligrosa (D)**, en la que pueden existir actividades peligrosas para el vuelo de las aeronaves. Por ejemplo, alrededor de las Islas Columbretes (LE-D21), donde se practican ejercicios aéreos a horas determinadas.
LED21A I. COLUMBRETES SUPERIOR (Castellón).
403011N 0010740E; 394925N 0011314E; 394922N 0001010E; 403011N 0010740E.
Límites superior/inferior – FL460/FL245
Zona manejable / Manageable area.
Ejercicios aéreos /Air exercises.
MON/FRI EXC HOL - V: 0630-1430 - I: 0730-1530
LED21B I. COLUMBRETES INFERIOR (Castellón).
402638N 0010810E; 395325N 0011044E; 394922N 0001010E; 402638N 0010810E
Límites superior/inferior – FL245/1.000 ft ALT.
Ejercicios aéreos /Air exercises.
MON/FRI EXC HOL - V: 0630-1430 - I: 0730-1530
- **Zona prohibida (P)**, en la que está prohibido el vuelo de las aeronaves. Por ejemplo, la zona próxima a una central nuclear.
LEP137 VANDELLÓS (Tarragona)
Círculo de 3 NM de radio con centro en 3 NM (circle of radius centered on: 405709N 0005159E).
Límites superior/inferior - 3.500 ft ALT GND/SEA.

Prohibido el sobrevuelo (Overflying is prohibited).

Permanente / Permanent.

- **Zona restringida (R)**, en la que está restringido el vuelo de las aeronaves, debido a la existencia de peligros por maniobras militares o protección de la naturaleza. Por ejemplo, la zona de marismas en el golfo de Rosas.

LER101 AMPURDÁN N (Girona)

421817N 0030642E; 421538N 0030901E 421456N 0030813E; 421722N 0030457E; 421817N 0030642E.

Límites superior/inferior; 1.000 ft ALT / GND

Zona ecológica. Parque Natural.

Ecologic area. Nature Park.

Los procedimientos para entrar y salir del aeropuerto varían según el tipo de vuelo VFR o IFR. En los vuelos VFR, el piloto, al llegar a uno de los puntos de notificación, avisa a la torre y una vez autorizado procede al circuito de aeródromo (viento en cola, base, final) a unos 1.000 pies sobre el terreno.

En los vuelos IFR, los controladores garantizan la separación entre aeronaves, y el piloto sigue los procedimientos detallados en las cartas.

Después de situarse en el radial del VOR desciende hacia un ADF donde, según las instrucciones dadas por la torre, hace circuitos de espera (varios aviones pueden estar a diferentes niveles) o procede en descenso, directamente a la pista, hasta una determinada altitud de seguridad, a partir de la cual, si no ve la pista, da gases y sigue el circuito de aproximación frustrada.

Los aeropuertos importantes disponen del sistema ILS (*Instrument Landing System*), basado en el seguimiento de una senda de aproximación con la detección vertical de las radiobalizas OM (*Outer Marker*) exterior y MM (*Midle Marker*) intermedia. A partir de esta última si el piloto no ve la pista, sigue el procedimiento de aproximación frustrada.

Otros sistemas se basan en el GPS a través de una estación central que se comunica con los usuarios por VHF y el receptor del avión corrige las señales de GPS, estableciendo un ILS estándar con la información recibida (sistema de aumento de área local, LAAS).

8.4. REGLA SEMICIRCULAR

En condiciones de vuelo visual (VFR) e instrumental (IFR), con el fin de evitar colisiones, las aeronaves vuelan a diferentes niveles de vuelo (alturas referidas a la presión estándar de 1.013,2 milibares, ajustadas en la ventanilla del altímetro) según el rumbo magnético, de acuerdo con la regla semicircular:

Vuelos VFR: De 0 a 179° - Impar + 500 / De 180° a 359° - Par + 500

Vuelos IFR: De 0 a 179° - Impar / De 180° a 359° - Par

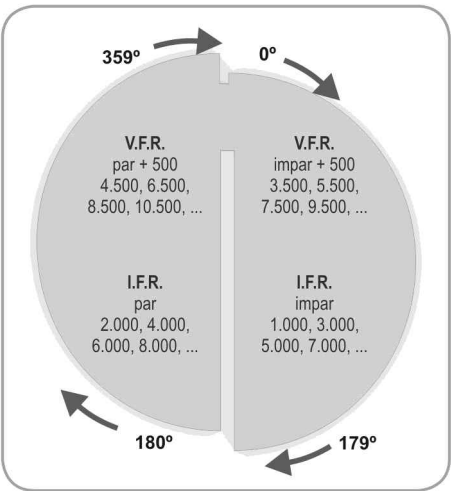


Figura 8.2. Regla semicircular.

Tabla 8.2. Niveles de vuelo VFR e IFR según la ruta magnética.

NIVELES DE VUELO							
Ruta magnética							
De 000° a 179°				De 180° a 359°			
Vuelo IFR		Vuelo VFR		Vuelo IFR		Vuelo VFR	
FL	Altitud, pies (m)	FL	Altitud, pies (m)	FL	Altitud, pies (m)	FL	Altitud, pies (m)
0	1.000 (300)						
30	3.000 (900)	35	3.500 (1.050)	40	4.000 (1.200)	45	4.500 (1.350)
50	5.000 (1.500)	55	5.500 (1.700)	60	6.000 (1.850)	65	6.500 (2.000)
70	7.000 (2.150)	75	7.500 (2.300)	80	8.000 (2.450)	85	8.500 (2.600)
90	9.000 (2.750)	95	9.500 (2.900)	100	10.000 (3.050)	105	10.500 (3.200)
110	11.000 (3.350)	115	11.500 (3.500)	120	12.000 (3.650)	125	12.500 (3.800)
130	13.000 (3.950)	135	13.500 (4.100)	140	14.000 (4.250)	145	14.500 (4.400)
150	15.000 (4.550)	155	15.500 (4.700)	160	16.000 (4.900)	165	16.500 (5.050)
170	17.000 (5.200)	175	17.500 (5.350)	180	18.000 (5.500)	185	18.500 (5.650)
190	19.000 (5.800)	195	19.500 (5.950)	200	20.000 (6.100)	205	20.500 (6.250)
210	21.000 (6.400)	215	21.500 (6.550)	220	22.000 (6.700)	225	22.500 (6.850)
230	23.000 (7.000)	235	23.500 (7.150)	240	24.000 (7.300)	245	24.500 (7.450)
250	25.000 (7.600)	255	25.500 (7.750)	260	26.000 (7.900)	265	26.500 (8.100)
270	27.000 (8.250)	275	27.500 (8.400)	280	28.000 (8.550)	285	28.500 (8.700)
290	29.000 (8.850)	300	30.000 (9.150)	310	31.000 (9.450)	320	32.000 (9.750)
330	33.000 (10.050)	340	34.000 (10.350)	350	35.000 (10.650)	360	36.000 (10.950)

Estas reglas semicirculares se aplican como mínimo a partir de la altura de 3.000' sobre la superficie del terreno. El piloto cuando asciende después de despegar de la pista del aeropuerto, lo hace con el altímetro reglado al valor del QNH dado por la torre y al cruzar la altitud de transición cambia el reglaje a 1.013,2 mb (29,92 " Hg) volando por niveles y seleccionando el adecuado a su rumbo. En la maniobra de aproximación al cruzar el nivel de transición pasa al valor del QNH dado por la torre y aterriza con el altímetro ajustado a estas condiciones.

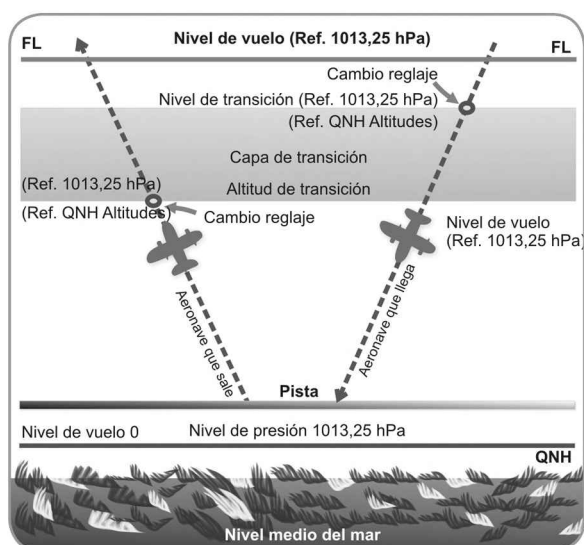


Figura 8.3. Capa de transición.

Por otro lado, la altura mínima de los vuelos VFR es de 500 pies sobre el mar o sobre terreno libre de edificaciones, y de 1.000 pies sobre lugares habitados (pueblos, ciudades).



Figura 8.4. Alturas mínimas de vuelo para VFR.

8.5. PLAN DE VUELO

El *plan de vuelo* es un documento que indica los puntos esenciales para el desarrollo con seguridad de un vuelo. Básicamente se cumplimenta por escrito en la dependencia ATS, pero también puede presentarse por teléfono, o bien transmitirse por radio desde el aire.

Cabe destacar en el apartado del equipo de radio de emergencia, el ELBA que es una baliza que en caso de choque empieza a transmitir automáticamente en las frecuencias de socorro de 121.5 MHz y 243 MHz. La señal emitida permite a los servicios de rescate localizar el avión.

Los apartados que el piloto debe cumplimentar en el plan de vuelo, son los siguientes:

Tabla 8.3. *Plan de vuelo.*

7 IDENTIFICACIÓN AERONAVE	Matrícula del avión
8 REGLAS DE VUELO	Visual (V) o Instrumental (I)
Tipo de vuelo	Aviación general (G)
Tipo de aeronave	Modelo del fabricante (HR22 o C172 o PA28 o ...)
CAT de estela turbulenta	Ligera (L) hasta 7.000 kg
10 EQUIPO	N (Ninguno), (S) Standard/(A) Respondedor modo A (4 dígitos) con código de alturas (C) 4 dígitos
13 AERÓDROMO DE SALIDA	Código OACI (LE es España, LELL es Sabadell) o ZZZZ (indicando en la casilla 18 el nombre del aeródromo)
Hora	Hora solar (09 30)
15 VELOCIDAD DE CRUCERO	N 0100 (100 nudos) o K 0180 (180 km/h)
Nivel	VFR es visual o F100... (nivel de vuelo)
Ruta	Por radioayudas o ciudades importantes
16 AERÓDROMO DE DESTINO	LEAP (Ampuriabrava) o ZZZZ (indicando en la casilla 18 el nombre del aeródromo)
EET total	Duración estimada del vuelo (00 45 = 0 horas 45 minutos)
Aeródromo alternativo	Aeródromo alternativo (LEGE = Girona)
2º aeródromo alternativo	Segundo aeródromo alternativo
18 OTROS DATOS	OPR/GAVINA (compañía que opera el avión) u otros datos de interés
Información suplementaria	En los mensajes FPL no hay que transmitir estos datos
19 AUTONOMÍA	En horas y minutos hasta el aeropuerto de destino. Como máximo el tiempo que conduce al paro del motor por haber agotado totalmente el combustible menos 30 minutos. (05 00 = 5 horas 0 minutos)
Personas a bordo	2
Equipo de radio de emergencia	UHF, VHF (121,5), ELBA (radiobaliza de emergencia)
Equipo de supervivencia	Si se lleva bote salvavidas debe marcarse la M (marítimo)
Chalecos	Con luz (L), fluorescentes (F), UHF y VHF con radiotransmisor
Botes neumáticos	Nº de botes a bordo y número de personas
Color y marcas de la aeronave	Blanco - rayas azules
Observaciones	Cualquier otro equipo de emergencia-supervivencia
Piloto al mando	Nombre del comandante
Presentado por	La persona que ha presentado el plan de vuelo

PLAN DE VUELO (FLIGHT PLAN)			
PRIORIDAD / Priority		DESTINATARIO / Addressee (s)	
HORA DE DEPÓSITO / Filing time		REMITENTE / Originator	
IDENTIFICACIÓN EXACTA DEL (DE LOS) DESTINARIO (S) Y/O DEL REMITENTE Specific identification of addressee (s) and/or originator			
3 TIPO DE MENSAJE Message type <<(FPL	7 IDENTIFICACIÓN AERONAVE Aircraft identification	8 REGLAS DE VUELO Flight rules	TIPO DE VUELO Type of flight
9 NÚMERO Number	TIPO DE AERONAVE Type of aircraft	CAT DE ESTELA TURBULENTE Wake turbulence cat	10 EQUIPO Equipment
13 AERÓDROMO DE SALIDA Departure aerodrome		HORA / Time	
15 VELOCIDAD DE CRUCERO Cruising speed	NIVEL Level	RUTA Route	
EET TOTAL			
16 AERÓDROMO DE DESTINO Destination aerodrome HR MIN		AERÓDROMO ALT Altitude aerodrome	2º AERÓDROMO ALT 2nd Altitude aerodrome
18 OTROS DATOS / Other information			

INFORMACIÓN SUPLEMENTARIA (en los mensajes FPL no hay que transmitir estos datos) Supplementary information (not to be transmitted in FPL messages)			
19 AUTONOMÍA / Endurance HR MIN	PERSONAS A BORDO Persons on board	EQUIPO RADIO DE EMERGENCIA Emergency radio UHF VHF ELBA ELBA	
EQUIPOS DE SUPERVIVENCIA / Survival equipment POLAR / Polar DESÉRTICO / Desert MARÍTIMO / Maritime FLÚOR / Fluores		CHALECOS / Jackets SELVA / Jungle LUZ / Light UHF VHF	
BOTES NEUMÁTICOS - Dinghies NÚMERO / Number CAPACIDAD / Capacity CUBIERTA / Cover COLOR / Colour			
COLOR Y MARCAS DE LA AERONAVE / Aircraft colour and markings BLANCO RAYAS AZULES			
OBSERVACIONES / Remarks			
PILOTO AL MANDO / Pilot in command ANTONIO CREUS			
PRESENTADO POR / Filed by ANTONIO CREUS		ESPACIO RESERVADO PARA REQUISITOS ADICIONALES Space reserved for additional purposes	

Figura 8.5. Plan de vuelo.

El plan de vuelo se cierra al llegar al aeropuerto de destino (o al alternativo). El piloto debe obligatoriamente cerrar el plan de vuelo, pues en caso contrario se pondría en marcha un plan de búsqueda del avión.

8.6. NOTAMS

Los *notams* (*Notice for Airmen*) son noticias que contienen información aeronáutica relativa al lugar, condición o cambio de cualquier servicio, procedimiento o condición de peligro, cuyo conocimiento a tiempo es esencial para el personal relacionado con el vuelo. Normalmente se consultan en la dependencia ATS.

8.7. PROCEDIMIENTOS EN SOCORRO O URGENCIA

La situación de *socorro* se define como aquella en la que un avión y sus ocupantes están amenazados de un peligro grave e inminente y/o requieren una ayuda inmediata.

S O C O R R O

a) Llamada del piloto (con claridad):

MAYDAY MAYDAY MAYDAY

Este es EC - GFO en 120,8. Si estaba emitiendo en ésta frecuencia,
o 121,50 (frecuencia de socorro internacional).

b) Transmisión del mensaje (con claridad):

Naturaleza de la condición de emergencia

Intenciones del piloto

Posición, altura/nivel de vuelo y rumbo actuales

Cualquier otra información para facilitar las operaciones de búsqueda y salvamento.

Al terminar la situación, transmitir el mensaje: «FIN DE LA SITUACIÓN DE SOCORRO».

La situación de *urgencia* se define como aquella relativa a la seguridad de un avión o de otros vehículos o de alguna persona a bordo, pero que no requiere una ayuda inmediata.

U R G E N C I A

a) Llamada del piloto (con claridad):

PAN, PAN PAN, PAN PAN, PAN

Este es EC - FTY en 120,8 Si estaba emitiendo en ésta frecuencia,
o 121,50 (frecuencia de socorro internacional).

b) Transmisión del mensaje (con claridad):

Naturaleza de la condición de urgencia

Intenciones del piloto

Posición, altura/nivel de vuelo y rumbo actuales

Cualquier otra información útil. Aparte de las señales anteriores, el piloto puede hacer uso de los medios que tiene a bordo, tales como el encendido y apagado repetido de luces.

8.8. TÍTULOS Y LICENCIAS DE PILOTO

Para pilotar un avión es necesario estar en posesión de un *título* que acredita que el poseedor ha demostrado que reúne los requisitos exigidos para ejercer determinadas atribuciones de vuelo (tiene carácter permanente, es decir, es válido para toda la vida), de una licencia que fija los límites de tiempo de las atribuciones especificadas en el título (se renueva con un certificado médico y con el mantenimiento de la competencia de vuelo) y de las habilitaciones asociadas a la licencia.

Las *habilitaciones* son atribuciones *de clase* de avión (monomotores o polimotores), *de tipo* de avión (helicópteros, aviones de peso superior a 1.500 kg, turbohélice, turborreactor), *de vuelo instrumental* (IFR) y *de instructor de vuelo*.

Las *autorizaciones* permiten el ejercicio de las atribuciones de vuelo. Son: *alumno piloto* (avión/helicóptero), *alumno de mecánico de a bordo*, *instructor de vuelo sintético* (avión/helicóptero) y *examinador*.

La regulación de los títulos y licencias aeronáuticas civiles está contenida en la Orden del Ministerio de Fomento, de 21 de marzo de 2.000, y fue modificada. Se adoptan los requisitos conjuntos de aviación para las licencias de la tripulación de vuelo, relativos a la organización médico-aeronáutica, los certificados médicos de clase 1 y de clase 2 y los requisitos médicos exigibles al personal de vuelo de aviones y helicópteros civiles.

Se sustituye el anexo de la Orden del Ministerio de Real Decreto 270/2000 de 25 de febrero y la Orden FOM/2.157/2003, de 18 de julio (BOE 110 de 6/5/2008) para adoptar los requisitos conjuntos de aviación JAR (Joint Aviation Requirements). Se establecen los siguientes títulos aeronáuticos civiles y dos clases de evaluaciones médicas (Clase I y Clase II):

TÍTULOS

- **Piloto privado de avión (PPL (A)) (Clase 2 (JAR-FCL)).** Mínimo 17 años de edad, mínimo 45 h de vuelo (25 h en doble mando y al menos 10 h de vuelo solo supervisado, con un mínimo de 5 h de travesía – 270 km mínimo, aterrizando en dos aeródromos diferentes). Debe pasar un examen teórico tipo test y una prueba de pericia de procedimientos y maniobras.
- *Atribuciones:* piloto o copiloto en aviones que realicen vuelos no remunerados de peso inferior a los 1.500 kg al despegue.
Puede aspirar a una habilitación de vuelo instrumental – IR(A) con requisito auditivo de Clase 1.

- **Piloto comercial de avión (CPL (A)) (Clase 1).** Mínimo 18 años, debiendo acreditar un nivel de conocimientos adecuado a las atribuciones de la licencia. Mínimo de 150 h de vuelo, en curso integrado, o 200 h de vuelo, en curso modular. Debe pasar un examen teórico y una prueba de pericia.
 - *Atribuciones:* piloto al mando o copiloto de cualquier avión en vuelos no dedicados al transporte aéreo comercial, piloto al mando de cualquier avión certificado para un solo piloto en vuelos dedicados al transporte aéreo comercial y copiloto en transporte aéreo comercial.
- **Piloto de transporte de línea aérea (ATPL (A)) (Clase 1).** Mínimo 21 años, debiendo acreditar un nivel de conocimientos adecuado a las atribuciones de la licencia. Mínimo de 1.500 h de vuelo.
 - *Atribuciones:* piloto al mando o copiloto de cualquier avión en vuelos dedicados al transporte aéreo comercial.
- **Piloto privado de helicóptero (PPL[H]) (Clase 2).**
- **Piloto comercial de helicóptero (PCL[H]) (Clase 1).**
- **Piloto de transporte de línea aérea de helicóptero (ATPL[H]) (Clase 1).**
- **Piloto de planeador (Clase 2 – OM 14.07.95).**
- **Piloto de ultraligero (ULM) (Clase 2 (JAR-FCL)).**
- **Piloto de globo libre (Clase 2 – OM 14.07.95).**
- **Mecánico de a bordo (Clase 1).**
- **Instructor de vuelo.** Se reconocen cinco categorías y pueden aspirar pilotos privados (PPL), comerciales (CPL) y de transporte (ATPL).
- **Examinadores.** Se reconocen seis funciones y estarán calificados para actuar como piloto al mando de la aeronave durante las pruebas de pericia.
- **Tripulante de cabina de pasajeros (TCP) (Clase 2 OACI).**
- **Controladores aéreos (Clase 3 OACI).**

El *periodo de validez de las licencias*, según la clase de revisión médica es:

Tabla 8.4. *Periodo de validez de las licencias (BOE 110 de 6/5/2008).*

Clase 1 (piloto comercial, piloto transporte y mecánico de a bordo)	Menores de 60 años	12 meses
	Mayores de 60 años	6 meses
	Mayores de 40 años realizando operaciones de transporte aéreo comercial con un solo piloto transportando pasajeros	

Clase 2 (piloto privado, piloto de planeador y globo libre, piloto de ultraligero y tripulante de cabina de pasajeros)	Menores de 40 años	60 meses
	Desde los 40 a los 50	24 meses
	Mayores de 50 años	12 meses
Clase 3 (controladores tránsito aéreo)	Mayores de 50 años	Un año

Las licencias requieren unas evaluaciones aeromédicas de calidad, realizadas por los médicos examinadores, cuya misión es evaluar la capacidad del piloto para desarrollar física y mentalmente sus tareas a bordo de una manera segura, y comprobar que esté libre de enfermedad que pueda incapacitarle durante el vuelo o que pueda reducir su capacidad de desarrollo de tareas a bordo por debajo de un nivel aceptable dentro del período de validez de su certificado. Es fundamental el grado de confianza entre el médico examinador y el piloto; este no tiene que ver al médico solo como un juez sino como un profesional que puede ayudarle tanto más cuanto más precozmente le diagnostique cualquier trastorno. De todos modos, todos los pilotos en general, se cuidan extraordinariamente unos días antes de la revisión, ya que en caso de una evaluación negativa, los comerciales pueden ver truncada su carrera y su medio de vida, y los privados pueden ver interrumpida su afición.

Las evaluaciones médicas tienen por objeto mantener el riesgo aeromédico dentro de unos límites razonables. El índice de accidentes mundial actual tiende a 1 accidente/10⁷ horas de vuelo. Al considerarse que la salud de los pilotos contribuye en un 1%, resulta que la causa médica en accidentes mortales en pilotos profesionales no debería sobrepasar la cifra de 1 accidente/10⁹ horas de vuelo. En el caso de pilotos privados, las estadísticas indican un porcentaje de accidentes unas 100 veces mayor que en los vuelos de transporte público, por lo que su objetivo es de 1 accidente/10⁷ horas de vuelo.

Cada Estado miembro de las JAR incluye uno o más médicos expertos en la práctica de la medicina de aviación dentro de la Sección de Medicina Aeronáutica (AMS). Los centros médico-aeronáuticos (AMC) situados dentro de los límites del Estado miembro, están dedicados a la medicina clínica de aviación. Los médicos examinadores autorizados (AME) son licenciados en medicina y han recibido formación en medicina de aviación.

Evaluaciones médicas

Clase 1 (JAR-FCL 3.130)

JAR-FCL 3.130. Sistema cardiovascular–Reconocimiento.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no deberá tener ninguna anomalía, congénita o adquirida, en el sistema cardiovascular que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones de la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) En el reconocimiento para obtener el certificado médico inicial se exige un electrocardiograma estándar en reposo de doce derivaciones con informe; después, se hará a intervalos de 5 años hasta la edad de 30, de 2 años hasta los 40, anualmente hasta los 50 años y en todos los exámenes posteriores de revalidación y renovación, o por indicación clínica.
- (c) La ergometría (electrocardiografía de esfuerzo) se requiere únicamente cuando esté indicada clínicamente, de acuerdo con el párrafo 1 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (d) Los informes del electrocardiograma en reposo o de esfuerzo serán realizados por un AME o especialistas aceptados por la AMS.
- (e) Para facilitar la evaluación del riesgo, en el reconocimiento para la emisión del certificado médico inicial y en el primer reconocimiento después de los 40 años, será necesaria una valoración de los lípidos en suero, incluido el colesterol (ver párrafo 2 del Apéndice 1 de la Subparte B).
- (f) El titular de un certificado de Clase 1, al llegar a la edad de 65 años, en el primer examen de renovación/revalidación, será revisado en un AMC o, a discreción de la AMS, por un cardiólogo aceptado por la AMS.

JAR-FCL 3.135. Sistema cardiovascular–Presión arterial.

- (a) La presión arterial se medirá con las técnicas proporcionadas en el párrafo 3 del Apéndice 1 de la Subparte B en cada examen.
- (b) Cuando la presión arterial exceda de 160 mmHg en la sistólica y/o 95 mmHg en la diastólica, con o sin tratamiento, el solicitante será evaluado como no apto.
- (c) El tratamiento para el control de la presión arterial será compatible con el ejercicio seguro de las atribuciones de la(s) licencia(s) correspondiente(s) (ver párrafo 4 del Apéndice 1 de la Subparte B). La iniciación de una medicación requiere que se establezca un período de suspensión temporal del certificado médico para determinar la ausencia de efectos colaterales significativos.
- (d) Los solicitantes con hipotensión sintomática serán calificados como no aptos.

JAR-FCL 3.140. Sistema cardiovascular–Enfermedad coronaria.

- (a) El solicitante con sospecha de isquemia cardiaca será sometido a investigación. El solicitante con una enfermedad coronaria leve y asintomática, que no requiera tratamiento, puede ser evaluado como apto por la AMS, si las investigaciones del párrafo 5 del Apéndice 1 de la Subparte B han sido satisfactorias.
- (b) Los solicitantes con enfermedad coronaria sintomática o con síntomas cardíacos controlados con medicación, serán calificados como no aptos.
- (c) Después de un suceso isquémico cardíaco (definido como infarto de miocardio, angina, arritmia significativa o fallo cardíaco debido a isquemia o cualquier tipo de revascularización cardíaca) no será posible la certificación para los solicitantes de Clase 1. La AMS puede otorgar una evaluación de apto en reconocimientos de renovación y revalidación si la investigación a que se refiere el párrafo 6 del Apéndice 1 de la Subparte B ha sido satisfactoria.

JAR-FCL 3.145. Sistema cardiovascular–Arritmias/alteraciones de la conducción.

- (a) Los solicitantes con trastornos significativos en el ritmo supraventricular, incluyendo alteración sinoatrial, ya sean de tipo intermitente o continuo, serán calificados como no aptos. La AMS podrá considerar una valoración de apto de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.

- (b) Los solicitantes con bradicardia sinusal asintomática o taquicardia sinusal pueden ser calificados como aptos en ausencia de anomalías subyacentes significativas.
- (c) Los solicitantes con complejos supraventriculares o ventriculares ectópicos uniformes aislados y que no produzcan sintomatología no es necesario que sean calificados como no aptos. Sin embargo, unas formas frecuentes o complejas requieren una evaluación cardiológica completa de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (d) En ausencia de otra anormalidad, los solicitantes con bloqueo incompleto de rama o eje desviado a la izquierda de forma estable, pueden ser calificados como aptos.
- (e) Los solicitantes con bloqueo completo de rama derecha requieren una evaluación cardiológica en la primera presentación y después, de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (f) Los solicitantes con bloqueo completo de rama izquierda serán evaluados como no aptos. Puede ser considerada la aptitud por la AMS, de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (g) Los solicitantes con bloqueo A-V de primer grado y Mobitz de tipo 1 pueden ser evaluados como aptos en ausencia de anormalidad notable. Los aspirantes con Mobitz de tipo 2 o bloqueo A-V completo se evaluarán como no aptos. La AMS puede considerar la aptitud de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (h) Los solicitantes que presenten taquicardias con complejos tanto anchos como estrechos deben ser considerados no aptos. Se puede considerar una calificación de apto por parte de la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (i) Los solicitantes con preexcitación ventricular serán evaluados como no aptos. Se puede considerar una calificación de apto por parte de la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (j) Los solicitantes que requieran un marcapasos endocárdico deben ser considerados no aptos. Se puede considerar una calificación de apto por parte de la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 8 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (k) Los solicitantes que hayan recibido terapia de ablación serán evaluados como no aptos. Se puede considerar una calificación de apto por parte de la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.

JAR-FCL 3.150. Sistema cardiovascular—General.

- (a) Los solicitantes que presenten enfermedad vascular periférica intervenida o no intervenida deben ser considerados no aptos. Siempre y cuando no exista una alteración funcional significativa, se puede considerar una evaluación de apto por parte de la AMS sujeta al cumplimiento de los párrafos 5 y 6 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (b) Los solicitantes que presenten un aneurisma de la aorta torácica o abdominal, antes o después de cirugía, deben ser considerados no aptos. Los solicitantes con un aneurisma en la aorta abdominal infrarrenal pueden ser evaluados como aptos por parte de la AMS en examen de renovación o revalidación, sujetos al cumplimiento del párrafo 8 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (c) Los solicitantes que presentan una alteración significativa en cualquiera de las válvulas cardíacas deben ser considerados no aptos.
 - (1) Los solicitantes con alteraciones menores en las válvulas cardíacas pueden ser considerados aptos por parte de la AMS, sujetos al cumplimiento del párrafo 9 (a) y (b) del Apéndice 1 de la Subparte B.
 - (2) Los solicitantes portadores de una prótesis valvular o bien intervenidos quirúrgicamente para reparación de una válvula deben ser considerados no aptos. Se puede considerar una evaluación de aptitud por parte de la AMS, sujetos al cumplimiento del párrafo 9 (c) del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (d) El tratamiento anticoagulante sistémico es motivo de descalificación. Los solicitantes que han recibido un tratamiento de este tipo con una duración limitada pueden ser considerados para una

evaluación de apto por parte de la AMS, sujeta al cumplimiento del párrafo 10, Apéndice 1 de la Subparte B.

- (e) Los solicitantes que presenten cualquier alteración en el pericardio, el miocardio o el endocardio no contemplada en los párrafos anteriores deben ser considerados no aptos. Se puede considerar una evaluación de apto por parte de la AMS tras la resolución completa del cuadro y tras una evaluación cardiológica satisfactoria, de acuerdo al párrafo 11 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (f) Los solicitantes que presenten alguna cardiopatía congénita, intervenida quirúrgicamente o no intervenida, deben ser considerados no aptos. Los solicitantes con malformaciones de grado menor pueden ser considerados aptos por la AMS tras un estudio cardiológico detallado, de acuerdo al párrafo 12 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (g) El trasplante de corazón o de corazón/pulmón es motivo de descalificación.
- (h) Los solicitantes con antecedentes de síncope vasovagal recurrente deben ser considerados no aptos. Se puede considerar una evaluación de apto por parte de la AMS en los solicitantes con historial favorable, sujeto al cumplimiento del párrafo 13 del Apéndice 1 de la Subparte B.

JAR-FCL 3.155. Sistema respiratorio—General.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no padecerá ninguna anomalía, congénita o adquirida, en el sistema respiratorio que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Se podrá requerir una radiografía anteroposterior del tórax en el reconocimiento inicial, de renovación o revalidación cuando esté indicado por motivos clínicos o epidemiológicos.
- (c) Se requieren pruebas de función pulmonar (ver párrafo 1 Apéndice 2 de la Subparte B) en el reconocimiento inicial cuando esté clínicamente indicada. Los solicitantes con una alteración significativa de la función pulmonar (ver párrafo 1 Apéndice 2 de la Subparte B) serán calificados como no aptos.

JAR-FCL 3.160. Sistema respiratorio—Alteraciones.

- (a) Los solicitantes que padezcan una enfermedad obstructiva crónica de las vías respiratorias serán calificados como no aptos. Los solicitantes con alteración menor de su función pulmonar pueden ser calificados como aptos.
- (b) Los solicitantes con asma que requieran medicación serán calificados de acuerdo con los criterios expuestos en el párrafo 2 del Apéndice 2 de la Subparte B.
- (c) Los solicitantes con enfermedades inflamatorias activas del sistema respiratorio serán calificados temporalmente como no aptos.
- (d) Los solicitantes con sarcoidosis activa serán calificados como no aptos (ver párrafo 3 del Apéndice 2 de la Subparte B).
- (e) Los solicitantes con neumotórax espontáneo serán calificados como no aptos pendientes de una evaluación completa, de acuerdo al párrafo 4 del Apéndice 2 de la Subparte B.
- (f) Los solicitantes que requieran una intervención quirúrgica mayor que afecte el sistema respiratorio serán calificados como no aptos por un mínimo de tres meses después de la operación y hasta el momento en que los efectos de la operación no puedan interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones de la(s) licencia(s) correspondiente(s) (ver párrafo 5 del Apéndice 2 de la Subparte B).
- (g) Los solicitantes que presenten síndrome de apnea del sueño tratado de manera insatisfactoria deben ser considerados no aptos.

JAR-FCL 3.165. Sistema digestivo—General.

El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no padecerá ninguna enfermedad funcional o estructural del tracto gastrointestinal o sus anejos que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).

JAR-FCL 3.170. Sistema digestivo—Alteraciones.

- (a) Los solicitantes con molestias dis pépticas recurrentes que requieran medicación o con pancreatitis serán calificados como no aptos pendientes de evaluación de acuerdo con el párrafo 1 del Apéndice 3 de la Subparte B.

- (b) Los solicitantes que presenten cálculos asintomáticos en la vesícula biliar descubiertos de manera incidental deben ser evaluados según lo recogido en el párrafo 2 del Apéndice 3 de la Subparte B.
- (c) Los solicitantes con diagnóstico actual o antecedentes de enfermedad intestinal inflamatoria deben ser considerados no aptos (ver el párrafo 3 del Apéndice 3 de la Subparte B).
- (d) Los solicitantes no presentarán ninguna forma de hernia que pudiera dar lugar a sintomatología incapacitante.
- (e) Los solicitantes con cualquier secuela de enfermedades o intervenciones quirúrgicas en cualquier localización del sistema digestivo o de sus órganos anejos que pudieran causar incapacidad durante el vuelo, en especial en lo que se refiere a la obstrucción causada por estenosis o compresión, deben ser considerados no aptos.
- (f) Los solicitantes que han sufrido una intervención quirúrgica en el sistema digestivo o en sus órganos anejos, con escisión total o parcial de cualquiera de estos órganos o bien con derivación de los mismos, deben ser considerados no aptos durante un período mínimo de 3 meses o bien hasta el momento en el que los efectos de la intervención ya no puedan interferir posiblemente el ejercicio seguro de las atribuciones otorgadas por la licencia aplicable (ver el párrafo 4 del Apéndice 3 de la Subparte B).

JAR-FCL 3.175. Enfermedades metabólicas, nutricionales y endocrinas.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no padecerá ninguna afección funcional o estructural metabólica, nutricional o endocrina, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Los solicitantes con disfunciones metabólicas, nutricionales o endocrinas pueden ser calificados como aptos de acuerdo con el párrafo 1 y 4 del Apéndice 4 de la Subparte B.
- (c) Los solicitantes con diabetes mellitus pueden ser calificados como aptos, solo de acuerdo con los párrafos 2 y 3 del Apéndice 4 de la Subparte B.
- (d) Los solicitantes con diabetes que requieran insulina serán calificados como no aptos.
- (e) Los solicitantes con un índice de masa corporal ≥ 35 pueden ser considerados aptos únicamente si el exceso del peso corporal posiblemente no interfiere el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s) y siempre que se haya efectuado una evaluación satisfactoria del riesgo cardiovascular (ver el párrafo 1 Apéndice 9 de la Subparte B).

JAR-FCL 3.180. Hematología.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no padecerá ninguna enfermedad hematológica que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) La concentración de hemoglobina debe ser determinada en todos los reconocimientos médicos. Los solicitantes con hemoglobina anormal serán investigados.
Los solicitantes con un hematocrito inferior al 32% deben ser considerados no aptos (ver párrafo 1 del Apéndice 5 de la Subparte B).
- (c) Los solicitantes que presenten anemia de células falciformes deben ser considerados no aptos (ver el párrafo 1 del Apéndice 5 de la Subparte B).
- (d) Los solicitantes que presenten un aumento de tamaño significativo de los ganglios linfáticos, localizado o generalizado, o bien enfermedades de la sangre deben ser considerados no aptos (ver párrafo 2 del Apéndice 5 de la Subparte B).
- (e) Los solicitantes que presenten leucemia aguda deben ser considerados no aptos. Tras el establecimiento de una remisión, los solicitantes pueden ser evaluados como aptos por la AMS. Los solicitantes que presenten leucemia crónica deben ser considerados no aptos. Después de un período de estabilidad demostrada se les puede considerar aptos por la AMS. Ver el párrafo 3 del Apéndice 5 de la Subparte B.
- (f) Los solicitantes con un aumento de tamaño significativo del bazo deben ser considerados no aptos (ver párrafo 4 del Apéndice 5 de la Subparte B).
- (g) Los solicitantes que presenten una policitemia significativa deben ser considerados no aptos (ver párrafo 5 del Apéndice 5 de la Subparte B).

- (h) Los solicitantes que presenten un defecto de la coagulación deben ser considerados no aptos (ver párrafo 6 del Apéndice 5 de la Subparte B).

JAR-FCL 3.185. Sistema urinario.

- (a) Un solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no debe presentar ninguna alteración funcional o estructural del sistema urinario o de sus órganos anejos que pudiera interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Los solicitantes que presenten cualquier signo de afectación orgánica del riñón deben ser considerados no aptos. El análisis de orina debe formar parte de toda evaluación médica. La orina no debe contener elementos anómalos que puedan tener significación patológica. Es necesario prestar una atención especial a las enfermedades que afectan a las vías urinarias y a los órganos genitales (ver el párrafo 1 del Apéndice 6 de la Subparte B).
- (c) Los solicitantes que presenten cálculos urinarios deben ser considerados no aptos (ver el párrafo 2 del Apéndice 6 de la Subparte B).
- (d) Los solicitantes que presenten cualquier tipo de secuela de una enfermedad o una intervención quirúrgica sobre los riñones o sobre el sistema urinario que pueda causar incapacidad, en especial cualquier forma de obstrucción debido a estenosis o compresión, deben ser considerados no aptos. Los solicitantes en los que se ha realizado una nefrectomía compensada y que no presenta ni hipertensión ni uremia pueden ser considerados aptos (ver párrafo 3 del Apéndice 6 de la Subparte B).
- (e) Los solicitantes que hayan sido sometidos a una intervención quirúrgica mayor en el sistema urinario o en las vías urinarias, con escisión total o parcial de alguno de sus órganos o bien con derivación de los mismos, deben ser considerados no aptos durante un periodo mínimo de 3 meses y hasta el momento en el que los efectos de dicha intervención razonablemente no puedan causar incapacidad durante el vuelo (ver párrafos 3 y 4 del Apéndice 6 de la Subparte B).

JAR-FCL 3.190. Enfermedades de transmisión sexual y otras infecciones.

- (a) Un solicitante o un titular de un certificado médico de Clase 1 no debe tener antecedentes clínicos ni padecer en este momento ninguna enfermedad de transmisión sexual o cualquier otra infección que pudiera interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Es necesario prestar una atención especial (ver Apéndice 7 de esta Subparte) a los antecedentes o los signos clínicos indicativos de:
 - (1) positividad para VIH,
 - (2) alteraciones del sistema inmunitario,
 - (3) hepatitis infecciosa,
 - (4) sífilis.

JAR-FCL 3.195. Ginecología y obstetricia.

- (a) Una solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no debe presentar ninguna alteración obstétrica o ginecológica funcional o estructural que pudiera interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) La solicitante con un historial de molestias menstruales importantes, con poca respuesta al tratamiento, será evaluada como no apta.
- (c) El embarazo implica incapacitación. Si la evaluación obstétrica indica un embarazo completamente normal, la solicitante podrá ser evaluada como apta hasta el final de la semana 26 de gestación, de acuerdo con el párrafo 1 del Apéndice 8 de la Subparte B, por la AMS, AMC o AME. Podrá reasumir las atribuciones de la licencia una vez que se confirme satisfactoriamente la completa recuperación tras el parto o tras la terminación del embarazo.
- (d) La solicitante que haya sufrido una intervención quirúrgica ginecológica importante será evaluada como no apta por un periodo de tres meses o hasta que no haya probabilidad de que los efectos de la operación puedan interferir el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) (ver párrafo 2 del Apéndice 8 de la Subparte B).

JAR-FCL 3.200. Requisitos musculares y esqueléticos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no padecerá ninguna anomalía, congénita o adquirida, en los huesos, articulaciones, músculos y tendones que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Un solicitante debe presentar la estatura suficiente en posición de sentado, así como la longitud suficiente de brazos y piernas, y la fuerza muscular necesaria, para el ejercicio seguro de las atribuciones de la pertinente licencia (ver párrafo 1 del Apéndice 9 de la Subparte B).
- (c) El solicitante disfrutará de un funcionamiento satisfactorio del sistema musculoesquelético. El solicitante con cualquier secuela significativa de enfermedad, lesión o anomalía congénita de los huesos, articulaciones, músculos o tendones, con o sin cirugía, será evaluado de acuerdo con los párrafos 1, 2 y 3 del Apéndice 9 de la Subparte B.

JAR-FCL 3.205. Requisitos psiquiátricos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no tendrá historial alguno o diagnóstico médico establecido de cualquier enfermedad o incapacidad psiquiátrica o afección, aguda o crónica, congénita o adquirida, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Se deberá prestar especial atención a los cuadros siguientes (ver Apéndice 10 de la Subparte B):
 - (1) esquizofrenia, trastornos esquizotípico y de delirio;
 - (2) trastornos del estado de ánimo;
 - (3) trastornos neuróticos, relacionado con el estrés, y somatomorfos;
 - (4) trastornos de la personalidad;
 - (5) trastornos mentales orgánicos;
 - (6) trastornos mentales y del comportamiento debidos al alcohol;
 - (7) uso o abuso de sustancias psicotrópicas.

JAR-FCL 3.210. Requisitos neurológicos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no tendrá un historial o diagnóstico médico establecido de cualquier condición neurológica que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Se deberá prestar particular atención a lo siguiente (ver Apéndice 11 de la Subparte B):
 - (1) enfermedad progresiva del sistema nervioso,
 - (2) epilepsia y otras causas de alteraciones de la consciencia,
 - (3) trastornos con una propensión elevada a la disfunción cerebral,
 - (4) traumatismo craneoencefálico,
 - (5) lesión de la médula espinal o el sistema nervioso periférico.
- (c) Se requiere un electroencefalograma cuando sea indicado por el historial del solicitante o motivos clínicos (Ver Apéndice 11 de la subparte B).

JAR-FCL 3.215. Requisitos oftalmológicos. (Ver el Apéndice 12 de la Subparte B).

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no padecerá ninguna anomalía en la función ocular o en sus anexos o cualquier afección patológica activa, congénita o adquirida, aguda o crónica, o cualquier secuela de cirugía ocular o trauma, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que le otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Es necesario un reconocimiento oftalmológico hecho por un oftalmólogo o especialista en el cuidado de la visión aceptado por la AMS (todos los casos de anormalidad o dudas serán remitidos a un oftalmólogo aceptado por la AMS) en la evaluación inicial, y debe incluir:
 - (1) historia clínica;
 - (2) agudeza visual en la visión cercana, intermedia y lejana no corregida; con la mejor corrección óptica posible, si fuera necesaria;
 - (3) refracción objetiva. Los solicitantes con hipermetropía, menores de 25 años de edad, en ciclopejía;

- (4) motilidad ocular y visión binocular;
 - (5) visión de los colores;
 - (6) campos visuales;
 - (7) tonometría según la indicación clínica y en las personas mayores de 40 años de edad;
 - (8) evaluación de la parte externa de los ojos, de su anatomía, de los medios de refracción (lám-pa-para de hendidura) y del fondo de ojo.
- (c) La exploración ocular rutinaria puede ser realizada por un AME. Formará parte de todos los reconocimientos de revalidación y renovación (ver el párrafo 2 del Apéndice 12 de la Subparte B) y debe incluir:
- (1) historia clínica;
 - (2) agudeza visual en la visión cercana, intermedia y lejana: no corregida y con la corrección óptica mejor, si fuera necesario;
 - (3) examen de la parte externa del ojo, de su anatomía, de los medios de refracción y del fondo de ojo;
 - (4) una exploración más detallada según la indicación clínica (ver párrafo 4 del Apéndice 12 de la Subparte B).
- (d) En los casos en los que el titular de un certificado presente estándares de rendimiento funcional (6/9 (0,7), 6/6 (1,0), N14, N5) únicamente con lentes correctoras, y el error de refracción excede de ± 3 dioptrías, debe aportar a la AMS un informe de la exploración realizada por un oftalmólogo o por un especialista en la visión autorizado por la AMS (ver el párrafo 3 del Apéndice 12 de la Subparte B).
- Si el error de refracción está dentro de un rango que no excede $+5$ a -6 dioptrías, este reconocimiento debe hacerse dentro de los 60 meses anteriores al reconocimiento médico extendido. Si el error de refracción está fuera del rango indicado el examen debe realizarse dentro de los 24 meses anteriores al examen. La exploración debe incluir:
- (1) historia clínica;
 - (2) agudeza visual en la visión cercana, intermedia y lejana: no corregida; con la mejor corrección óptica si fuera necesario;
 - (3) refracción;
 - (4) motilidad ocular y visión binocular;
 - (5) campos visuales;
 - (6) tonometría a partir de los 40 años de edad;
 - (7) examen de la parte externa de los ojos, de su anatomía, de los medios de refracción (lám-pa-para de hendidura) y del fondo de ojo.

Este informe debe ser remitido a la AMS. En el caso de que se detecte alguna alteración que suscite dudas acerca de la idoneidad del sistema ocular del solicitante, se requerirá una nueva exploración oftalmológica (ver el párrafo 4 del Apéndice 12 de la Subparte B).

- (e) Los titulares de un certificado de Clase 1, después de cumplir 40 años, se someterán a una tonometría cada 2 años o presentarán un informe de una tonometría realizada dentro de los 24 meses anteriores al examen médico.
- (f) En los casos en los que sea necesaria la exploración por un especialista en oftalmología debido a cualquier razón significativa, en el certificado médico debe constar la limitación correspondiente: «Requiere la exploración efectuada por un especialista en oftalmología–RXO». Esta limitación puede ser aplicada por un AME pero solo puede ser eliminada por la AMS.

JAR-FCL 3.220. Requisitos visuales.

- (a) Agudeza visual lejana. La agudeza visual lejana, con o sin corrección, será 6/9 (0.7) o superior en cada ojo, y la agudeza visual con ambos ojos será 6/6 (1.0) o superior (ver JAR-FCL 3.220(g) que sigue). No se aplican limitaciones a la agudeza visual no corregida.
- (b) Errores de refracción. El error de refracción se define como la desviación desde la emetro-pía medida en dioptrías en el meridiano más ametrópico. La refracción será medida mediante

métodos estándar (ver párrafo 1 del Apéndice 13 de la Subparte B). En relación a los errores de refracción, los solicitantes serán calificados aptos si cumplen los siguientes requisitos:

- (1) Error de refracción.
 - i. En el reconocimiento inicial el error de refracción estará en el orden de +5 a -6 dioptrías (ver el párrafo 2 (a) del Apéndice 13 de la Subparte B).
 - ii. En los reconocimientos de revalidación o renovación, el solicitante con la experiencia suficiente a satisfacción de la Autoridad y con error de refracción que no exceda +5 dioptrías o con un error de refracción altamente miópico que exceda de -6 dioptrías puede ser calificado apto por la AMS (ver el párrafo 2 (b) del Apéndice 13 de la Subparte B).
 - iii. Los solicitantes con gran error de refracción usarán lentes de contacto o gafas.
- (2) Astigmatismo.
 - i. En un solicitante inicial con un error de refracción acompañado de un componente de astigmatismo, el astigmatismo no debe superar las 2.0 dioptrías.
 - ii. En los reconocimientos de revalidación o renovación, el solicitante con experiencia suficiente a satisfacción de la Autoridad y con un error de refracción acompañado de un componente de astigmatismo no superior a 3.0 dioptrías puede ser calificado apto por la AMS (ver párrafo 3 del apéndice 13 de la Subparte B).
- (3) El queratocono es motivo de descalificación. La AMS puede considerar la revalidación y renovación si el solicitante cumple los requisitos de agudeza visual (ver el párrafo 3 del Apéndice 13 de la Subparte B).
- (4) Anisometropía.
 - i. En un solicitante inicial la diferencia en el error de refracción entre los dos ojos (anisometropía) no debe superar las 2.0 dioptrías.
 - ii. En los reconocimientos de revalidación o renovación, el solicitante con experiencia suficiente a satisfacción de la Autoridad y con una diferencia de error refractivo entre ambos ojos (anisometropía) de hasta 3.0 dioptrías puede ser evaluado apto por la AMS. Se usarán lentes de contacto si la anisometropía excede de 3.0 dioptrías (ver párrafo 5 del Apéndice 13 de la Subparte B).
- (5) Deberá seguirse el desarrollo de la presbicia en todos los reconocimientos aeromédicos de renovación.
- (6) El solicitante deberá ser capaz de leer una carta N5 (o equivalente) a 30-50 cm y una N14 (o equivalente) a 100 cms, con corrección si está prescrita. (Ver JAR-FCL 3.220[h]).
- (c) El solicitante con defectos significativos en la visión binocular será evaluado como no apto. (Ver párrafo 6 del Apéndice 13 de la Subparte B.)
- (d) El solicitante con diplopía será evaluado como no apto.
- (e) Un solicitante con desequilibrio de los músculos oculares (heteroforías) que exceda (medido con la corrección usual, si fuera necesaria) de: 2,0 dioptrías prismáticas de hiperforía a 6 metros, 10,0 dioptrías prismáticas de esoforía a 6 metros, 8,0 dioptrías prismáticas de exoforía a 6 metros; y 1,0 dioptría prismática de hiperforía a 33 cm, 6,0 dioptrías prismáticas de exoforía a 33 cm, 12,0 dioptrías prismáticas de exoforía a 33 cm, será evaluado como no apto. Si la capacidad de fusión es suficiente para prevenir la astenopía y la diplopía la AMS puede considerar una evaluación de apto (ver párrafo 6 del Apéndice 13 Subparte B).
- (f) El solicitante con campos visuales anormales será evaluado como no apto (ver párrafo 4 del Apéndice 13 Subparte B).
- (g)
 - (1) Si un requisito visual se cumple únicamente con el uso de corrección, las gafas o las lentes de contacto deberán proporcionar una función visual óptima, bien tolerada y ser adecuadas a los fines de la aviación. Si se usan lentes de contacto serán monofocales y para visión lejana. No se usarán cristales ortokeratológicos.
 - (2) Las lentes correctoras, cuando se lleven para su uso en la aviación, deberán permitir al titular de la misma que cumpla los requisitos visuales a todas las distancias. No deberá utilizarse más de un par de gafas para cumplir este requisito.

- (3) Las lentes de contacto, cuando se usan para fines de aviación, serán monofocales y no tintadas.
- (4) Deberá tener disponible un par de gafas de repuesto de similar corrección, cuando se ejerzan las atribuciones de la licencia.
- (h) Cirugía ocular.
 - (1) Los antecedentes de cirugía refractiva conllevan la falta de aptitud. La calificación de apto puede ser considerada por la AMS (ver párrafo 8 del Apéndice 13 Subparte B).
 - (2) Los antecedentes de cirugía de cataratas, de cirugía sobre la retina y de cirugía del glaucoma conllevan la falta de aptitud. En la revalidación/renovación puede ser calificado apto por la AMS (ver párrafo 9 del Apéndice 13 Subparte B).

JAR-FCL 3.225. Percepción de los colores.

- (a) La percepción normal del color se define como la capacidad de pasar las tablas de Ishihara o el anomaloscopio de Nagel como tricrómatas normal (ver párrafo 1 del Apéndice 14 de la Subparte B).
- (b) El solicitante deberá tener una percepción normal de los colores o distinguirlos de forma segura. En el examen inicial los solicitantes tendrán que superar el test de Ishihara. Los que no superen el test de Ishihara serán calificados como que distinguen los colores de forma segura si superan otras pruebas realizadas con métodos aceptados por la AMS (anomaloscopio o linterna de colores) (ver párrafo 2 del Apéndice 14 de la Subparte B). En la revalidación o renovación solamente se verificarán por medios clínicos.
- (c) El solicitante que no supere las pruebas de percepción de colores será considerado como que tiene una visión de colores insegura y será evaluado como no apto.

JAR-FCL 3.230. Requisitos otorrinolaringológicos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no padecerá ninguna anomalía en las funciones de los oídos, nariz, senos paranasales o garganta (incluyendo la cavidad oral, dientes y laringe), o cualquier afección activa patológica, congénita o adquirida, aguda o crónica, o cualquier secuela de cirugía y trauma que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) El reconocimiento otorrinolaringológico completo será requerido en el reconocimiento inicial, y posteriormente cuando sea requerido clínico (reconocimiento extendido –ver párrafo 1 y 2 del Apéndice 15 de la Subparte B) e incluirá:
 - (1) historia clínica;
 - (2) examen clínico incluyendo otoscopia, rinoscopia, y examen de nariz y garganta;
 - (3) timpanometría o equivalente;
 - (4) evaluación clínica del sistema vestibular.

Todos los casos de anormalidad o duda dentro de una zona ENT serán remitidos a un especialista en otorrinolaringología de aviación aceptado por la AMS.

- (c) Un reconocimiento ordinario de oído-nariz-garganta deberá formar parte de todos los reconocimientos de revalidación y renovación (ver Apéndice 15 de la Subparte B).
- (d) La presencia de cualquiera de las siguientes afecciones en el solicitante dará como resultado una evaluación de no apto.
 - (1) Proceso activo patológico, agudo o crónico, del oído interno o medio.
 - (2) Perforación no curada, o disfunción de las membranas del tímpano (ver párrafo 3 del Apéndice 15 de la Subparte B).
 - (3) Alteraciones de la función vestibular (ver párrafo 4 del Apéndice 15 de la Subparte B).
 - (4) Restricción significativa ventilatoria en cualquiera de las dos fosas nasales, o cualquier disfunción de los senos paranasales.
 - (5) Malformación significativa o infección significativa, aguda o crónica, en la cavidad oral o del tracto respiratorio superior.
 - (6) Trastorno significativo del habla o voz.

JAR-FCL 3.235. Requisitos auditivos.

- (a) La audición deberá comprobarse en todos los reconocimientos.

El solicitante entenderá correctamente con cada oído la conversación, cuando se compruebe estando a una distancia de 2 metros y de espaldas al AME.

- (b) La audición será comprobada con audiometría tonal en el reconocimiento inicial y en los posteriores de revalidación o renovación cada cinco años hasta que cumpla 40 años y cada dos años a partir de entonces (ver párrafo 1 del Apéndice 16 de la Subparte B).
- (c) No deberá haber pérdida de audición en ambos oídos, comprobándolos por separado, 35 dB(HL) en cualquiera de las frecuencias 500, 1.000, y 2.000 Hz, o de más de 50 dB(HL) a 3.000 Hz.
- (d) En la revalidación o renovación, los solicitantes con hipoacusia podrán ser calificados como aptos por la AMS si en una prueba de discriminación verbal se demuestra una habilidad auditiva satisfactoria (ver párrafo 2 del Apéndice 16 de la Subparte B).

JAR-FCL 3.240. Requisitos psicológicos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no deberá tener ninguna deficiencia psicológica establecida (ver párrafo 1 del Apéndice 17 de la Subparte B), que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondientes(s). La AMS requerirá una evaluación psicológica cuando esté indicado como parte o complemento de un reconocimiento psiquiátrico o neurológico (ver párrafo 2 del Apéndice 17 de la Subparte B).
- (b) Esta evaluación psicológica será realizada por psicólogo aceptado por la AMS.
- (c) Los psicólogos emitirán por escrito un informe para la AMS detallando su opinión y recomendaciones.

JAR-FCL 3.245. Requisitos dermatológicos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no padecerá ninguna afección dermatológica comprobada que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgan la(s) licencia(s) correspondientes(s).
- (b) Se deberá prestar particular atención a las siguientes afecciones (ver Apéndice 18 de la Subparte B):
 - (1) Eccema (exógeno y endógeno).
 - (2) Psoriasis severa.
 - (3) Infecciones bacterianas.
 - (4) Erupciones inducidas por fármacos.

BOE núm. 110 martes 6 mayo 2008 22637

- (5) Erupciones ampollosas.
- (6) Patología cutánea tumoral.
- (7) Urticaria.

Se deberá consultar a la AMS si existiera alguna duda sobre cualquiera otra afección.

JAR-FCL 3.246. Oncología.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 1 no presentará ninguna enfermedad maligna establecida, primaria o secundaria, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Tras el tratamiento de una enfermedad maligna, el solicitante puede ser evaluado apto según lo recogido en el Apéndice 19 de la Subparte B.

Subparte C. Requisitos médicos Clase 2.**JAR-FCL 3.250. Sistema cardiovascular—Reconocimiento.**

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no deberá tener ninguna anomalía, congénita o adquirida, en el sistema cardiovascular que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen de la(s) licencia(s) correspondientes(s).

- (b) Se requiere un electrocardiograma (ECG) estándar en reposo de doce pistas con informe en el reconocimiento para la emisión del certificado médico inicial, en el primer reconocimiento después de cumplir 40 años y, posteriormente, en todos los reconocimientos médicos aeronáuticos.
- (c) La ergometría (electrocardiografía de esfuerzo) se requiere únicamente cuando esté indicada clínicamente de acuerdo con el párrafo 1 del Apéndice 1 de la Subparte C.
- (d) Los informes del electrocardiograma y de la ergometría serán realizados por el AME u otros especialistas aceptados por la AMS.
- (e) Si se dan en el solicitante dos o más factores de riesgo mayor (fumar, hipertensión, diabetes mellitus, obesidad, etc.), se requiere una valoración de los lípidos séricos y del colesterol sérico en el reconocimiento para la emisión del certificado médico inicial y en el primer reconocimiento después de los 40 años y por indicación clínica (ver párrafo 2 del Apéndice 1 de la Subparte C).

JAR-FCL 3.255. Sistema cardiovascular—Presión arterial.

- (a) La presión sanguínea será medida con las técnicas proporcionadas en el párrafo 3 del Apéndice 1 de la Subparte C en cada examen médico.
- (b) Cuando la presión arterial exceda efectivamente de 160 mmHg de sistólica y 95 mmHg de diastólica, con o sin tratamiento, el solicitante será evaluado como no apto.
- (c) El tratamiento para el control de la presión arterial será compatible con el ejercicio seguro de las atribuciones que otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s) y cumpla el párrafo 4 del Apéndice 1 de la Subparte C). La iniciación de un tratamiento farmacológico requiere que se establezca un período de suspensión temporal del certificado médico para determinar la ausencia de efectos colaterales significativos.
- (d) Los solicitantes con hipotensión sintomática serán evaluados como no aptos.

JAR-FCL 3.260. Sistema cardiovascular—Enfermedad coronaria.

- (a) El solicitante con sospecha de isquemia cardiaca será investigado. Los que padezcan una coronariopatía leve, asintomática, que no requiera tratamiento, podrán ser considerados aptos por la AMS, si las investigaciones a que se refiere el párrafo 5 del Apéndice 1 de la Subparte C son satisfactorias.
- (b) Los solicitantes con enfermedad coronaria sintomática o con síntomas cardíacos controlados con medicación, serán calificados como no aptos.
- (c) Después de un suceso isquémico cardíaco (definido como infarto de miocardio, angina, arritmia significativa o fallo cardíaco debido a isquemia o cualquier tipo de revascularización cardíaca) la certificación para solicitantes de Clase 2 puede ser considerada por la AMS si la investigación a que se refiere el párrafo 6 del Apéndice 1 de la Subparte B ha sido satisfactoria.

JAR-FCL 3.265. Sistema cardiovascular—Arritmias/alteraciones de la conducción.

- (a) Los solicitantes con trastornos del ritmo supraventricular, incluyendo disfunción sinoauricular, intermitente o establecida, serán calificados como no aptos. La AMS puede considerar una evaluación de aptitud de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte C.
- (b) Los solicitantes con bradicardia sinusal asintomática o taquicardia sinusal pueden ser calificados como aptos en ausencia de patología significativa subyacente.
- (c) No es necesario calificar como no apto a los solicitantes con complejos supraventriculares o ventriculares o auriculares ectópicos uniformes, aislados y asintomáticos, pero si la extrasístolia es muy frecuente, o con formas complejas, se requerirá una evaluación cardiológica completa de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte C.
- (d) En ausencia de otra anomalía, los solicitantes con bloqueo incompleto de rama o con una desviación estable del eje izquierdo, podrán ser calificados como aptos.
- (e) Los solicitantes con bloqueo completo de rama derecha requerirán una evaluación cardiológica en su primera presentación y posteriormente, de acuerdo con los elementos apropiados del párrafo 8 del Apéndice 1 de la Subparte C.

- (f) Los solicitantes con bloqueo completo de rama izquierda serán evaluados como no aptos. Puede ser considerada la aptitud por la AMS, de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (g) Los solicitantes con bloqueo A-V de primer grado y Mobitz de tipo 1 pueden ser evaluados como aptos en ausencia de anormalidad notable. Los aspirantes con Mobitz de tipo 2 o bloqueo A-V completo se evaluarán como no aptos. La AMS puede considerar la aptitud de acuerdo con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (h) Los solicitantes que presenten taquicardias con complejos tanto anchos como estrechos deben ser considerados no aptos. Se puede considerar una calificación de apto por parte de la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (i) Los solicitantes con preexcitación ventricular serán evaluados como no aptos. Se puede considerar una calificación de apto por parte de la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (j) Los solicitantes que requieran un marcapasos endocárdico deben ser considerados no aptos. Se puede considerar una calificación de apto por parte de la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 8 del Apéndice 1 de la Subparte B.
- (k) Los solicitantes que hayan recibido terapia de ablación serán evaluados como no aptos. Se puede considerar una calificación de apto por parte de la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 7 del Apéndice 1 de la Subparte B.

JAR-FCL 3.270. Sistema cardiovascular—General.

- (a) Los solicitantes con enfermedad vascular periférica serán calificados como no aptos, antes o después de cirugía. Siempre y cuando no presenta alteraciones funcionales significativas, la AMS puede considerar una evaluación de apto, sujeta a estar de acuerdo con los párrafos 5 y 6 del Apéndice 1 de la Subparte C.
- (b) Los solicitantes con aneurisma de la aorta torácica o abdominal, antes o después de la cirugía, deben ser considerados como no aptos. Los solicitantes con un aneurisma aórtico abdominal infrarrenal pueden ser evaluados como aptos por el AME sujeto a cumplir con el párrafo 8 del Apéndice 1 de la Subparte C.
- (c) Los solicitantes con anomalías significativas en cualquiera de las válvulas cardíacas serán calificados como no aptos.
 - (1) Los solicitantes con anomalías menores en las válvulas cardíacas podrán ser calificados como aptos por la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 9(a) y (b) del Apéndice 1 de la Subparte C.
 - (2) Los solicitantes que se hayan sometido a cirugía valvular reparadora o sustitutiva serán calificados como no aptos. Una valoración de apto puede ser considerada por la AMS sujeta a cumplir con el párrafo 9(c) del Apéndice 1 de la Subparte C.
- (d) La terapia anticoagulante sistémica es descalificante.

Después de un tratamiento de duración limitada, los solicitantes podrán ser considerados para una calificación de apto por la AMS de acuerdo con el párrafo 10 del Apéndice 1 de la Subparte C.

- (e) Los solicitantes con cualquier anomalía del pericardio, miocardio o endocardio no señalada anteriormente serán calificados como no aptos. La AMS puede considerar una evaluación de apto después de que se haya producido una resolución completa de la anomalía y tras una evaluación cardiológica satisfactoria de acuerdo con el párrafo 11 del Apéndice 1 de la Subparte C.
- (f) Los solicitantes con cardiopatías congénitas, antes o después de cirugía correctora, serán calificados como no aptos. La AMS puede considerar una evaluación de apto de acuerdo con el párrafo 12 del Apéndice 1 de la Subparte C.
- (g) El trasplante de corazón o de corazón/pulmón es causa de falta de aptitud.
- (h) Los solicitantes con antecedentes de síncope vasovagal repetido serán calificados como no aptos. La AMS puede considerar la evaluación de apto de un solicitante con estos antecedentes sujeta a cumplir con el párrafo 13 del Apéndice 1 de la Subparte C.

JAR-FCL 3.275. Sistema respiratorio—General.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico Clase 2 no padecerá ninguna anomalía en el sistema respiratorio, congénita o adquirida, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Solo en los casos en los que esté indicado por motivos clínicos o epidemiológicos, será requerida una radiografía anterior-posterior del tórax.
- (c) Se requiere una prueba de función pulmonar (ver párrafo 1 del Apéndice 2 de la Subparte C). Los solicitantes con una alteración significativa de la función pulmonar serán calificados como no aptos (ver párrafo 1 del Apéndice 2 de la Subparte C).

JAR-FCL 3.280. Sistema respiratorio—Alteraciones.

- (a) Los solicitantes con enfermedad obstructiva crónica de las vías respiratorias serán calificados como no aptos. Los solicitantes con alteración menor de la función pulmonar pueden ser calificados como aptos.
- (b) Los solicitantes con asma que requieran medicación serán calificados de acuerdo con los criterios expuestos en el párrafo 2 del Apéndice 2 de la Subparte C.
- (c) Los solicitantes con enfermedades activas inflamatorias del sistema respiratorio serán calificados como temporalmente no aptos.
- (d) Los solicitantes con sarcoidosis activa serán calificados como no aptos (ver párrafo 3 del Apéndice 2 de la Subparte C).
- (e) Los solicitantes con neumotórax espontáneo serán calificados como no aptos, pendientes de una evaluación completa (ver párrafo 4 Apéndice 2 de la Subparte C).
- (f) Los solicitantes que requieran una intervención quirúrgica mayor que afecte el aparato respiratorio serán calificados como no aptos, por un período mínimo de tres meses después de la operación y hasta el momento en que los efectos de la operación no puedan interferir el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgue(n) la(s) licencia(s) correspondiente(s) (ver párrafo 5 del Apéndice 2 de la Subparte C).
- (g) Los solicitantes con síndrome de apnea del sueño tratado de manera insatisfactoria deben ser considerados como no aptos.

JAR-FCL 3.285. Sistema digestivo—General.

El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no padecerá ninguna enfermedad funcional o estructural del tracto gastrointestinal o sus anexos que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgue(n) la(s) licencia(s) correspondiente(s).

JAR-FCL 3.290. Sistema digestivo—Alteraciones.

- (a) Los solicitantes con alteraciones dispépticas recurrentes que requieran medicación o con pancreatitis serán calificados como no aptos, pendientes de evaluación de acuerdo con el párrafo 1 del Apéndice 3 de la Subparte C.
- (b) Los solicitantes con colelitiasis asintomática descubierta de manera incidental serán evaluados según lo recogido en el párrafo 2 del Apéndice 3 de la Subparte C.
- (c) El solicitante que tenga un historial médico establecido o un diagnóstico clínico de enfermedad inflamatoria intestinal, será evaluado como no apto (ver el párrafo 3 del Apéndice 3 de la Subparte C).
- (d) El solicitante no presentará hernia alguna que pueda incrementar el riesgo de síntomas incapacitantes.
- (e) Los solicitantes con cualquier secuela de enfermedad o de intervención quirúrgica en cualquier parte del tracto digestivo, o de sus anexos, que pueda causar incapacitación en vuelo, en particular cualquier obstrucción debida a estrechez o compresión, serán evaluados como no aptos.
- (f) El solicitante que haya sufrido una operación quirúrgica en el tracto digestivo o en sus anexos, incluyendo la resección total o parcial o técnicas derivativas que afecten a cualquiera de estos órganos, será evaluado como no apto por un período mínimo de tres meses o hasta el momento

en que los efectos de dicha operación no tengan probabilidad de interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s) (ver párrafo 4 Apéndice 3 de la Subparte C).

JAR-FCL 3.295. Enfermedades metabólicas, nutricionales y endocrinas.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no padecerá ninguna afección funcional o estructural metabólica, nutricional o endocrina, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Los solicitantes con disfunciones metabólicas, nutricionales o endocrinas podrán ser calificados como aptos de acuerdo con el párrafo 1 y 4 del Apéndice 4 de la Subparte C.
- (c) Los solicitantes con diabetes mellitus pueden ser calificados como aptos únicamente de acuerdo con los párrafos 2 y 3 del Apéndice 4 de la Subparte C.
- (d) Los solicitantes con diabetes que requieran insulina serán calificados como no aptos.
- (e) Los solicitantes con un índice de masa corporal ≥ 35 pueden ser considerados aptos únicamente si el exceso del peso corporal posiblemente no interfiere el ejercicio seguro de la(s) licencia(s) correspondiente(s) y siempre que se haya efectuado una evaluación satisfactoria del riesgo cardiovascular (ver el párrafo 1 Apéndice 9 de la Subparte B).

JAR-FCL 3.300. Hematología.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no padecerá ninguna enfermedad hematológica que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) La hemoglobina deberá ser comprobada en el reconocimiento para obtener el certificado médico inicial y cuando esté indicado por motivos clínicos. Los solicitantes con hemoglobina anormal serán investigados. Los solicitantes con un hematocrito inferior al 32% serán evaluados como no aptos (ver párrafo 1 del Apéndice 5 de la Subparte C).
- (c) El solicitante con enfermedad de células falciformes será evaluado como no apto (ver párrafo 1 del Apéndice 5 de la Subparte C).
- (d) El solicitante con un agrandamiento significativo, localizado y generalizado, de los ganglios linfáticos, o con enfermedades de la sangre será evaluado como no apto (ver párrafo 2 del Apéndice 5 de la Subparte C).
- (e) El solicitante con leucemia aguda será evaluado como no apto. Tras una remisión establecida, la AMS puede calificar apto al solicitante. Los solicitantes con leucemia crónica serán calificados como no aptos. Después de un período de estabilidad demostrada puede evaluarse positivamente por la AMS (ver párrafo 3 del Apéndice 5 de la Subparte C).
- (f) El solicitante con un agrandamiento significativo del bazo será evaluado como no apto (ver párrafo 4 Apéndice 5 de la Subparte C).
- (g) El solicitante con policitemia significativa será evaluado como no apto de acuerdo con el párrafo 5 del Apéndice 5 de la Subparte C.
- (h) El solicitante con un defecto de coagulación será evaluado como no apto (ver párrafo 6 del Apéndice 5 de la Subparte C).

JAR-FCL 3.305. Sistema urinario.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no padecerá ninguna enfermedad funcional o estructural del sistema urinario o de sus anexos que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) El solicitante que presente cualquier signo de enfermedad orgánica del riñón será evaluado como no apto. El análisis de orina deberá formar parte de todos los reconocimientos médicos. La orina no deberá contener ningún elemento anormal que se considere significativo patológicamente. Debería prestarse particular atención a las enfermedades que afecten a las vías urinarias y a los órganos genitales (ver párrafo 1 del Apéndice 6 de la Subparte C).
- (c) El solicitante que presente cálculos renouretrales será evaluado como no apto (ver párrafo 2 del Apéndice 6 de la Subparte C).

- (d) El solicitante con cualquier secuela de enfermedad o de procedimientos quirúrgicos en los riñones y en el tracto urinario que pueda causar incapacitación, en particular cualquier obstrucción debida a estrechamiento o compresión, será evaluado como no apto. El solicitante con nefrectomía compensada, sin hipertensión ni uremia podrá ser considerado como apto por la AMS de acuerdo al párrafo 3 del Apéndice 6 de la Subparte C.
- (e) El solicitante que se haya sometido a una cirugía importante del riñón o del tracto urinario, incluyendo la resección total o parcial, o una técnica derivativa de cualquiera de sus órganos, será evaluado como no apto por un periodo mínimo de tres meses y hasta el momento en que los efectos de la operación no tengan ya probabilidad de interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s) (ver párrafos 3 y 4 del Apéndice 6 de la Subparte C).

JAR-FCL 3.310. Enfermedades de transmisión sexual y otras infecciones.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no tendrá un historial médico establecido o un diagnóstico médico de cualquier enfermedad de transmisión sexual u otra infección que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen las licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Se prestará particular atención, de acuerdo con el Apéndice 7 de la Subparte C, a los historiales o indicios clínicos que indiquen:
 - (1) VIH positivo.
 - (2) Inmunodeficiencia.
 - (3) Hepatitis infecciosa.
 - (4) Sífilis.

JAR-FCL 3.315. Ginecología y obstetricia.

- (a) Una solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no tendrá ninguna afección obstétrica o ginecológica, funcional o estructural, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Una solicitante con un historial de alteraciones menstruales severas con poca respuesta al tratamiento convencional, será evaluada como no apta.
- (c) El embarazo implica incapacitación. Si la evaluación obstétrica indica un embarazo completamente normal, la solicitante podrá ser evaluada como apta hasta el final de la semana 26 de gestación, de acuerdo con el párrafo 1 del Apéndice 8 de la Subparte C por la AMS, AMC o AME. Las atribuciones de la licencia podrán ser reasumidas una vez que se confirme satisfactoriamente la completa recuperación después del parto o de la terminación del embarazo.
- (d) Una solicitante que haya sufrido una intervención quirúrgica ginecológica importante será evaluada como no apta, por un periodo de tres meses o hasta el momento en que los efectos de la operación no tengan probabilidad de interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) (ver párrafo 2 del Apéndice 8 de la Subparte C).

JAR-FCL 3.320. Requisitos musculares y esqueléticos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no padecerá ninguna anomalía en los huesos, articulación, músculos y tendones, congénita o adquirida que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) El solicitante deberá tener suficiente talla sentado, tamaño de brazo y piernas, y masa muscular, para el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorgue la licencia aplicable (ver párrafo 1 del Apéndice 9 de la Subparte C).
- (c) El solicitante tendrá un sistema musculoesquelético funcionalmente satisfactorio. El solicitante con cualquier secuela significativa de enfermedad, accidente o anomalía congénita de los huesos, articulaciones, músculos o tendones, con o sin cirugía, será evaluado de acuerdo con los párrafos 1, 2 y 3 del Apéndice 9 de la Subparte C.

JAR-FCL 3.325. Requisitos psiquiátricos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no tendrá un historial o diagnóstico médico establecido de cualquier enfermedad o incapacidad psiquiátrica o afección, aguda o crónica, congénita o adquirida, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Se deberá prestar especial atención a lo siguiente (ver Apéndice 10 de la Subparte B):
 - (1) esquizofrenia, trastornos esquizotípicos y de delirio;
 - (2) trastornos del estado de ánimo;
 - (3) trastornos neuróticos, relacionado con el estrés, y somatomorfos;
 - (4) trastornos de la personalidad;
 - (5) trastornos mentales orgánicos;
 - (6) trastornos mentales y del comportamiento debidos al alcohol.

JAR-FCL 3.330. Requisitos neurológicos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no poseerá un historial o diagnóstico médico establecido de cualquier afección neurológica que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Se deberá prestar particular atención a lo siguiente (ver Apéndice 11 de la Subparte C):
 - (1) enfermedad progresiva del sistema nervioso,
 - (2) epilepsia y otras causas de alteración de la consciencia,
 - (3) enfermedades con altas probabilidades de cursar con disfunciones cerebrales,
 - (4) traumatismos craneoencefálicos,
 - (5) lesiones en nervios espinales o periféricos.

JAR-FCL 3.335. Requisitos oftalmológicos. (Ver el Apéndice 12 de la Subparte C).

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no padecerá ninguna anomalía en la función ocular o en sus anexos o cualquier afección patológica activa, congénita o adquirida, aguda o crónica, o cualquier secuela de cirugía ocular o trauma, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Es necesario un reconocimiento oftalmológico realizado por un oftalmólogo o especialista en el cuidado de la visión aceptado por la AMS o a discreción de la AMS por el AME (todos los casos anormales o dudosos se remitirán a un oftalmólogo aceptado por la AMS) en la evaluación inicial (ver el párrafo 1(b) del Apéndice 12 de la Subparte C) y debe incluir:
 - (1) historia clínica;
 - (2) agudeza visual, visión cercana y lejana; no corregida y con la mejor corrección óptica posible, si fuera necesaria;
 - (3) motilidad ocular y visión binocular;
 - (4) visión de los colores;
 - (5) campos visuales;
 - (6) evaluación de la parte externa de los ojos, de su anatomía, de los medios de refracción y del fondo de ojo.
- (c) La exploración ocular rutinaria puede ser realizada por un AME. Debe formar parte de todos los reconocimientos de revalidación y renovación (ver el párrafo 2 del Apéndice 12 de la Subparte C) y debe incluir:
 - (1) historia clínica;
 - (2) agudeza visual, visión cercana y lejana; no corregida y con la corrección óptica mejor, si fuera necesario;
 - (3) evaluación de la parte externa de los ojos, de su anatomía, de los medios de refracción y del fondo de ojo;
 - (4) una exploración más detallada según indicación clínica (ver el párrafo 2 del Apéndice 12 de la Subparte C).

JAR-FCL 3.340. Requisitos visuales.

- (a) Agudeza visual lejana. La agudeza visual lejana, con o sin corrección, será 6/12 (0,5) o superior en cada ojo, y la agudeza visual con ambos ojos será 6/6 (1,0) o superior (ver JAR-FCL 3.340(f) que sigue). No se aplican limitaciones a la agudeza visual no corregida.
- (b) Errores de refracción. El error de refracción se define como la desviación desde la emetro-pía medida en dioptrías en el meridiano más ametrópico. La refracción será medida mediante métodos estándar (ver párrafo 1 del Apéndice 13 de la Subparte C). En relación a los errores de refracción, los solicitantes serán considerados aptos si cumplen los siguientes requisitos:
 - (1) Error de refracción.
 - i. En el reconocimiento inicial el error de refracción no debe ser superior a +5 o -8 dioptrías (ver el párrafo 2 (c) del Apéndice 13 de la Subparte C).
 - ii. En los reconocimientos de revalidación o renovación, el solicitante con experiencia suficiente a satisfacción de la Autoridad y con error de refracción que no exceda de hasta + 5 dioptrías o un error de refracción miópico grande que exceda de -8 dioptrías puede ser evaluado apto por la AMS (ver el párrafo 2 (c) del Apéndice 13 de la Subparte C).
 - iii. Los solicitantes con gran error de refracción usarán lentes de contacto o gafas.
 - (2) Astigmatismo.
 - i. En un solicitante inicial con un error de refracción acompañado de un componente de astigmatismo, el astigmatismo no debe superar las 3.0 dioptrías.
 - ii. En los reconocimientos de revalidación o renovación, el solicitante con experiencia suficiente a satisfacción de la Autoridad y con un error de refracción acompañado de un componente de astigmatismo no superior a 3.0 dioptrías puede ser evaluado apto por la AMS.
 - (3) El queratocono es motivo de descalificación. La AMS puede considerar la evaluación de aptitud si el solicitante cumple los requisitos de agudeza visual (ver el párrafo 3 del Apéndice 13 de la Subparte C).
 - (4) En el solicitante con ambliopía, la agudeza visual del ojo ambliope será 6/18 (0,3) o superior. El solicitante puede ser evaluado como apto siempre y cuando la agudeza visual en el otro ojo sea 6/6 (1,0) o superior (con o sin corrección) y no se pueda demostrar ninguna otra patología significativa.
 - (5) Anisometropía.
 - i. En un solicitante inicial la diferencia en el error de refracción entre los dos ojos (anisometropía) no debe superar las 3,0 dioptrías.
 - ii. En los reconocimientos de revalidación o renovación, el solicitante con experiencia suficiente a satisfacción de la Autoridad y con una diferencia de error refractivo entre ambos ojos (anisometropía) de más de 3,0 dioptrías puede ser evaluado apto por la AMS. Debe utilizar lentes de contacto si la anisometropía supera las 3,0 dioptrías.
 - (6) Deberá seguirse el desarrollo de la presbicia en todos los reconocimientos aeromédicos de renovación.
 - (7) El solicitante deberá ser capaz de leer una carta N5 (o equivalente) a 30-50 cm y una N14 (o equivalente) a 100 cm, con corrección si está prescrita (ver JAR-FCL 3.340(f) más adelante).
- (c) El solicitante con defectos significativos en la visión binocular será evaluado como no apto. (ver párrafo 4 del Apéndice 13 de la Subparte C).
- (d) El solicitante con diplopía será evaluado como no apto.
- (e) El solicitante con campos visuales anormales será evaluado como no apto (ver párrafo 4 del Apéndice 13 Subparte C).
- (f) (1) Si un requisito visual se cumple únicamente con el uso de corrección, las gafas o las lentes de contacto deberán proporcionar una función visual bien tolerada y adecuada a los fines de la aviación. Si se usan lentes de contacto serán monofocales y para visión lejana. No se usarán lentes ortokeratológicas.

- (2) Las lentes correctoras, cuando se lleven para su uso en la aviación, deberán permitir al titular de la misma que cumpla los requisitos visuales a todas las distancias.

No deberá utilizarse más de un par de gafas para cumplir este requisito.

- (3) Las lentes de contacto, cuando se usen para fines de aviación, serán monofocales y no tintadas.
- (4) Deberá tener disponible un par de gafas de repuesto de similar corrección, cuando se ejerzan las atribuciones de la licencia.
- (g) Cirugía ocular.
 - (1) Los antecedentes de cirugía refractiva conllevan la falta de aptitud. Puede ser considerada por la AMS una evaluación positiva (ver párrafo 6 del Apéndice 13 Subparte C).
 - (2) Los antecedentes de cirugía de cataratas, de cirugía sobre la retina y de cirugía del glaucoma conllevan la falta de aptitud. Puede ser considerada por la AMS una evaluación positiva en la revalidación o renovación (ver párrafo 7 del Apéndice 13 Subparte C).

JAR-FCL 3.345. Percepción de colores.

- (a) La percepción normal del color se define como la capacidad de pasar las tablas de Ishihara o el anomaloscopio de Nagel como un tricrómatas normal (ver párrafo 1 del Apéndice 14 de la Subparte C).
- (b) El solicitante tendrá una percepción normal de los colores o los distinguirá de forma segura. En el reconocimiento inicial el solicitante pasará el test de Ishihara.

El solicitante que no supere el test de Ishihara será evaluado como que distingue los colores de forma segura si supera otras pruebas con métodos aceptables por la AMS (anomaloscopio o linterna de colores) (ver párrafo 2 Apéndice 14 de la Subparte C). En la revalidación o renovación solo será necesario verificar la percepción de colores por razones clínicas.

- (c) El solicitante que no supere las pruebas aceptadas de percepción de colores será considerado discrómatas y será evaluado como no apto.
- (d) El solicitante discrómatas podrá ser evaluado como apto para volar solo de día.

JAR-FCL 3.350. Requisitos otorrinolaringológicos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no padecerá ninguna anomalía en las funciones de los oídos, nariz, senos paranasales o garganta (incluyendo la cavidad oral, dientes y laringe), o cualquier afección activa patológica, congénita o adquirida, aguda o crónica, o cualquier secuela de cirugía y trauma que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Un reconocimiento ordinario de oído-nariz-garganta formará parte de todos los reconocimientos iniciales, de revalidación y renovación (ver párrafo 2 del Apéndice 15 de la Subparte C).
- (c) La presencia de cualquiera de las siguientes afecciones en el solicitante darán como resultado una evaluación de no apto.
 - (1) Proceso activo patológico, agudo o crónico, del oído interno o medio.
 - (2) Perforación no curada o disfunción de las membranas del tímpano (ver párrafo 3 del Apéndice 15 de la Subparte C).
 - (3) Alteraciones de la función vestibular (ver párrafo 4 del Apéndice 15 de la Subparte C).
 - (4) Insuficiencia ventilatoria nasal significativa en ambos lados, o cualquier alteración en la función de los senos paranasales.
 - (5) Malformación significativa o infección de la cavidad oral o del tracto respiratorio superior, significativa, aguda o crónica.
 - (6) Afección significativa del habla o voz.

JAR-FCL 3.355. Requisitos auditivos.

- (a) La audición deberá comprobarse en todos los reconocimientos. El solicitante será capaz de comprender correctamente la conversación ordinaria estando a una distancia de 2 metros y de espaldas al AME.

- (b) Si ha de añadirse a la(s) licencia(s) aplicable(s) una habilitación de vuelo instrumental, se requiere que en el primer reconocimiento para la habilitación se realice una prueba auditiva con una audiometría tonal pura (ver párrafo 1 del Apéndice 16 de la Subparte C) que deberá repetirse cada cinco años hasta cumplir 40 años y cada dos años posteriormente.
 - (1) No deberá haber pérdida de audición en ambos oídos, cuando se comprueben por separado, de más de 35 dB(HL) en cualquiera de las frecuencias 500, 1.000 y 2.000 Hz, o de más de 50 dB(HL) a 3.000 Hz.
 - (2) En el reconocimiento de revalidación o renovación los solicitantes con hipoacusia pueden ser considerados como aptos por la AMS si en una prueba de discriminación del habla se demuestra una capacidad auditiva satisfactoria (ver párrafo 2 del Apéndice 16 de la Subparte C).

JAR-FCL 3.360. Requisitos psicológicos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no tendrá deficiencias psicológicas establecidas, particularmente en aptitudes operacionales o cualquier factor de personalidad relevante, que puedan interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) aplicable(s).

La AMS requerirá una evaluación psicológica (ver párrafo 1 del Apéndice 17 de la Subparte C) cuando sea indicada como parte o complemento de un reconocimiento psiquiátrico o neurológico (ver párrafo 2 del Apéndice 17 de la Subparte C).

- (b) Esta evaluación psicológica, será realizada por un psicólogo aceptado por la AMS.
- (c) Los psicólogos deberán entregar a la AMS un informe escrito detallando su opinión y recomendaciones.

JAR-FCL 3.365. Requisitos dermatológicos.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no padecerá ninguna afección dermatológica establecida que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Se deberá prestar particular atención a las siguientes afecciones (ver Apéndice 18 de la Subparte B).
 - (1) Eccema (exógeno y endógeno).
 - (2) Psoriasis severa.
 - (3) Infecciones bacterianas.
 - (4) Erupciones inducidas por fármacos.
 - (5) Erupciones ampollosas.
 - (6) Patología cutánea tumoral.
 - (7) Urticaria.

Se deberá consultar a la AMS si existe alguna duda sobre cualquier condición.

JAR-FCL 3.370. Oncología.

- (a) El solicitante o titular de un certificado médico de Clase 2 no presentará ninguna enfermedad maligna establecida, primaria o secundaria, que pueda interferir con el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen la(s) licencia(s) correspondiente(s).
- (b) Tras el tratamiento de una enfermedad maligna, el solicitante puede ser evaluado apto según lo recogido en el Apéndice 19 de la Subparte C.

APÉNDICES DE LAS SUBPARTES B Y C

Apéndice 1 de las Subpartes B y C

Sistema cardiovascular. (Ver JAR-FCL 3.130 hasta el 3.150 y 3.250 hasta el 3.270.)

1. Se requerirá una ergometría (electrocardiografía de esfuerzo):
 - (a) cuando esté indicado por signos o síntomas que sugieran una enfermedad cardiovascular;
 - (b) para aclarar un electrocardiograma en reposo;
 - (c) a discreción de un especialista en medicina aeronáutica aceptado por la AMS;
 - (d) a la edad de 65 y luego cada cuatro años para la revalidación o renovación de Clase 1.
2. (a) Las anomalías significativas en la determinación de los lípidos plasmáticos deberán requerir revisión, investigación y supervisión por el AMC o AME en conjunto con la AMS.
 (b) Una acumulación de factores de riesgo (fumar, historial familiar, anomalías lipídicas, hipertensión, etc.) requerirá una evaluación cardiovascular por el AMC o AME en conjunto con la AMS.
3. El diagnóstico de hipertensión requerirá revisar otros posibles factores de riesgo vascular. La presión sistólica será registrada con la aparición de los sonidos Korotkoff (fase I) y la presión diastólica con su desaparición (fase V). La presión sanguínea debería ser medida dos veces. Si la presión sanguínea es elevada y/o el ritmo cardíaco en reposo está alto, deberían realizarse observaciones posteriores durante la valoración.
4. El tratamiento antihipertensivo deberá acordarse por la AMS. Los fármacos aceptados por la AMS pueden incluir:
 - (a) diuréticos, excepto los que actúan a nivel del asa;
 - (b) algunos betabloqueantes, generalmente del tipo hidrofílicos;
 - (c) inhibidores de la enzima convertidora de la angiotensina (ACE);
 - (d) antagonistas de los receptores AT1 de la angiotensina II (sartanos);
 - (e) agentes bloqueadores de los canales lentos del calcio.

Para la Clase 1, la hipertensión tratada con medicación puede requerir una multipiloto (OML Clase 1) o para la Clase 2, la limitación un piloto de seguridad OSL Clase 2.

5. Ante la sospecha de enfermedad coronaria asintomática o enfermedad arterial periférica, se requerirá una ergometría (de acuerdo con el párrafo 6 (a) del Apéndice 1 de las Subpartes B y C) seguida, si es necesario, de más pruebas (una gammagrafía, ecocardiografía de esfuerzo, angiografía coronaria o pruebas equivalentes aceptadas por la AMS) que demostrarán que no hay evidencias de isquemia miocárdica o estenosis significativa de las arterias coronarias.
6. Después de un suceso de isquemia cardíaca, incluida revascularización o enfermedad arterial periférica, los solicitantes sin síntomas reducirán cualquier factor de riesgo vascular hasta un nivel aceptable. Los fármacos, usados para controlar sintomatología cardíaca, no son aceptables. Todos los aspirantes podrían tener un tratamiento secundario aceptable de carácter preventivo.

Se dispondrá de un angiograma coronario obtenido con proximidad o durante un acontecimiento isquémico cardíaco. La AMS dispondrá de un informe clínico completo y detallado del acontecimiento isquémico, de un angiograma y de cualquier procedimiento operativo. No existirá estenosis de más del 50% en cualquier vaso mayor no tratado, en cualquier vena o injerto de arteria o en el lugar de una angioplastia/stent, excepto en un vaso que haya sufrido un infarto. No serán aceptables más de dos estenosis entre el 30 y el 50% en el árbol vascular.

La totalidad del árbol coronario vascular será evaluado satisfactoriamente por un cardiólogo aceptado por la AMS que prestará particular atención a las estenosis múltiples y/o a las revascularizaciones múltiples.

Una estenosis no tratada superior al 30% en la arteria principal izquierda o próxima a la arteria coronaria anterior descendente debería ser inaceptable.

En plazo máximo de 6 meses desde un acontecimiento isquémico cardiaco, incluyendo la revascularización, se realizarán las siguientes investigaciones:

- (a) ECG de esfuerzo y con limitación de síntomas hasta un estadio IV de Bruce, o equivalente, que no muestre evidencia de isquemia miocárdica o perturbación del ritmo.
- (b) Ecocardiograma (o prueba equivalente aceptada por la AMS) que muestre una función ventricular izquierda satisfactoria con anomalías no importantes del movimiento de las paredes (por ejemplo discinesia o acinesia) una fracción de eyección ventricular izquierda del 50% o más.
- (c) En casos de angioplastia/stent, una ganmagrafía, ecocardiografía de esfuerzo (o prueba equivalente aceptada por la AMS) que demuestre que no hay evidencia de isquemia miocárdica reversible. Si hay alguna duda sobre la irrigación miocárdica en otros casos (infarto o injerto de *bypass*) se requerirá una ganmagrafía.
- (d) Otras investigaciones, como un registro electrocardiográfico ambulatorio continuo de 24 horas, pueden ser necesarias para evaluar el riesgo de cualquier alteración del ritmo.

Se hará un seguimiento anual (o más frecuentemente si es necesario) para garantizar que no se deteriora el estado cardiológico. Incluirá una revisión cardiológica por un cardiólogo aceptado por la AMS, incluyendo un ECG de esfuerzo y una evaluación de riesgo cardiológico. Pueden ser requeridas por la AMS pruebas complementarias.

Después de un injerto de *bypass* venoso se realizará una ganmagrafía (o una prueba equivalente aceptada por la AMS) si hay alguna indicación y, en cualquier caso, dentro de los 5 años siguientes al procedimiento.

En todos los casos se debe considerar una angiografía coronaria, o prueba equivalente aceptada por la AMS, si existen síntomas, signos o pruebas no invasivas que indican isquemia cardiaca.

Evaluación AMS.

Los solicitantes de Clase 1 que hayan completado satisfactoriamente la revisión de 6 meses serán tomados en consideración para una evaluación positiva con limitación multipiloto (OML Clase 1).

Los solicitantes de Clase 2 que cumplan satisfactoriamente los puntos del párrafo 6 pueden volar sin la limitación piloto de seguridad (OSL Clase 2) pero la AMS puede requerir un período de vuelo con piloto de seguridad antes de ser autorizado para el vuelo solo. Los aspirantes a revalidación o renovación de clase 2 pueden volar, a discreción de la AMS, con limitación OSL Clase 2 habiendo superado solamente un ECG de esfuerzo con los estándares del párrafo 6(a).

- 7. Cualquier afección significativa del ritmo o de la conducción requiere evaluación por un cardiólogo aceptado por la AMS y un seguimiento apropiado en el caso de aptitud.
 - (a) Esta evaluación puede incluir:
 - (1) ECG de esfuerzo del protocolo de Bruce, o equivalente. La prueba estaría limitada al esfuerzo máximo o síntoma. Se alcanzará el estadio 4 de Bruce y demostrará que no existe evidencia anormalidad significativa del ritmo o conducción ni de isquemia miocárdica. Se considerará la suspensión de la medicación cardioactiva antes de la prueba.
 - (2) Electrocardiograma registrado durante 24 horas de manera ambulatoria en el que no se demuestren alteraciones significativas de la conducción, ni trastornos del ritmo.
 - (3) Ecocardiografía Doppler 2D que debe mostrar una no significativa hipertrofia o una anomalía estructural o funcional y una fracción de eyección ventricular del 50% al menos.
 - (b) La evaluación posterior puede incluir:
 - (1) Repetir el registro ECL de 24 horas.
 - (2) Estudio electrofisiológico.
 - (3) Ganmagrafía o prueba equivalente.

- (4) MRI cardíaco o prueba equivalente.
- (5) Angiograma o prueba equivalente (ver Apéndice 1, párrafo 6).
- (c) Evaluación Clase 1 por la AMS:
 - (1) Fibrilación atrial/conmoción.
 - i. Para la Clase 1, la evaluación positiva se limitará a los solicitantes con un episodio único de arritmia que considere la AMS que no es fácil que recurra.
 - ii. La revalidación/renovación de Clase 1 será determinada por la AMS.
 - (2) Bloqueo completo de la rama derecha:
 - i. Para la Clase 1 inicial la evaluación positiva será considerada por la AMS si el solicitante tiene menos de 40 años. Si tiene mas demostrará un período de estabilidad, normalmente de 12 meses.
 - ii. Para la revalidación/renovación de Clase 1 se puede considerar una evaluación positiva sin limitación multipiloto (OML Clase 1) si el aspirante tiene menos de 40 años. Si tiene más de 40 años se le aplicará una limitación multipiloto (OML Clase 1) por un período de 12 meses.
 - (3) Bloqueo completo de rama izquierda.

En aspirantes de más de 40 años, si es necesario, estudio de las arterias coronarias.

- i. Los aspirantes a una Clase 1 inicial deberían demostrar un período de 3 años de estabilidad.
- ii. Para la revalidación o renovación de Clase 1, se puede considerar una evaluación positiva sin la limitación multipiloto (OML Clase 1) después de un período de tres años con dicha limitación.
- (4) Preexcitación ventricular.
 - i. Los aspirantes a Clase 1 con preexcitación asintomáticos pueden ser considerados aptos para revalidación/renovación por la AMS con limitación multipiloto (OML Clase 1).
 - ii. Los aspirantes a Clase 1 con preexcitación asintomáticos pueden ser considerados aptos por la AMS, si un estudio electrofisiológico, que incluya una adecuada estimulación autonómica inducida por fármacos, revela que se excluye una taquicardia inducible de reentrada y la existencia de múltiples senderos.
- (5) Marcapasos.

Después de la implantación permanente de un marcapasos subendocardiaco se requerirá una evaluación de salud hecha no antes de tres meses de la implantación:

- i. que no existan otras condiciones descalificantes;
 - ii. un sistema frontal bipolar;
 - iii. que el solicitante no sea dependiente del marcapasos;
 - iv. seguimiento regular incluyendo la verificación del marcapasos;
 - v. en la revalidación/renovación de Clase 1 la evaluación positiva requiere una limitación a multipiloto (OML Clase 1).
 - (6) Ablación. Para la evaluación positiva de los aspirantes de Clase 1 que se hayan sometido con éxito a una ablación se requiere una limitación a multipiloto (OML Clase 1) por un año al menos, a no ser que un estudio electrofisiológico, realizado en un plazo mínimo de dos meses después de la ablación, demuestre resultados satisfactorios. Para aquellos a los que no se pueda asegurar un resultado a largo plazo por medio de pruebas invasivas o no invasivas puede ser necesario un período adicional con limitación a multipiloto (OML Clase 1).
 - (d) Evaluación clase 2 por la AMS. La evaluación de Clase 2 por la AMS seguirá los procedimientos de evaluación de la Clase 1. Puede tenerse en cuenta una limitación a piloto de seguridad (OSL Clase 2) u OPL (válida solo sin pasajeros).
8. Los aspirantes con aneurismas aórticos abdominales infrarrenales no intervenidos pueden ser evaluados como aptos con limitación multipiloto (OML Clase 1) o para Clase 2 con piloto de

seguridad (OSL Clase 2) por parte de la AMS. La AMS puede requerir un seguimiento a base de investigación con ultrasonidos, si es necesaria.

Tras el tratamiento quirúrgico del aneurisma aórtico abdominal infrarrenal sin complicaciones, y después de una evaluación cardiovascular, los solicitantes de Clase 1 pueden ser evaluados como aptos por la AMS con una limitación multipiloto (OML Clase 1) y un seguimiento indicado por la AMS, la evaluación positiva de Clase 2 requiere limitación con piloto de seguridad (OSL Clase 2).

9. (a) Los aspirantes con no reconocidos soplos cardíacos de origen no determinado con anterioridad deberán requerir una revisión realizada por un cardiólogo aceptado por la AMS y evaluación por la AMS. Si se considerara significativo, las investigaciones posteriores deberán incluir al menos una ecocardiografía 2D Doppler.
- (b) Alteraciones valvulares.
 - (1) Los solicitantes con una válvula aórtica bicúspide pueden ser evaluados como aptos sin limitación multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2) si no se demuestra otra anomalía cardíaca o aórtica. Si es necesario la AMS puede determinar que se haga un seguimiento con ecocardiografía.
 - (2) Los aspirantes con estenosis aórtica requieren revisión por la AMS. La función ventricular izquierda deberá estar intacta. Una historia de embolismo sistemático o dilatación sistemática de la aorta torácica será descalificante.

Aquellos que tengan un gradiente de presión por encima de 20 mm de HG pero no más de 40 pueden ser evaluados como aptos para Clase 2 o para Clase 1 con limitación multipiloto (OML Clase 1). Un gradiente de presión por encima de 50 mm de Hg puede ser aceptable a discreción de la AMS. La AMS puede determinar un seguimiento con ecocardiografía 2D con Doppler.

- (3) Los aspirantes con insuficiencia aórtica pueden ser evaluados aptos sin restricciones solo si es muy leve.

No deberá haber ninguna anomalía demostrable en la aorta ascendente estudiada mediante ecocardiografía Doppler 2D. La AMS puede determinar un seguimiento, si es necesario.

- (4) Los aspirantes con valvulopatía mitral reumática serán evaluados como no aptos normalmente.
- (5) Prolapso mitral/insuficiencia mitral. Los solicitantes sin síntomas con chasquido mesosistólico aislado podrán no necesitar restricción. Los solicitantes de Clase 1 con insuficiencia leve no complicada pueden requerir una limitación multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2). Los solicitantes de Clase 1 regurgitación menor no complicada pueden requerir una limitación multipiloto (OML Clase 1), según determine la AMS. Los solicitantes con evidencia de sobrecarga de volumen en el ventrículo izquierdo valorado por el aumento en el diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo deberán evaluarse como no aptos. Serán requeridas una revisión periódica y una evaluación por la AMS si es requerida.
- (c) Cirugía valvular.
 - (1) Los solicitantes con válvulas mecánicas deberán evaluarse como no aptos.
 - (2) Los solicitantes sin síntomas con válvulas biológicas en los que, al menos 6 meses tras la cirugía, se hayan completado satisfactoriamente los estudios que demuestren la normalidad estructural y funcional de las válvulas y los ventrículos pueden ser considerados para calificación de apto por la AMS para operación multipiloto (OML):
 - i. Un ECG de esfuerzo satisfactorio, efectuado con limitación por los síntomas y hasta un estadio IV de Bruce, o equivalente, en el que un cardiólogo aceptado por la AMS interprete que no existen alteraciones significativas.

Se requerirá gammagrafía miocárdica/ecocardiografía de esfuerzo en los casos en los que el ECG en reposo sea patológico y se demuestre alguna alteración en las arterias coronarias. Ver también los párrafos 5, 6 y 7 del Apéndice 1 a las Subpartes B y C.

- ii. Una ecocardiografía Doppler 2D sin aumento significativo y selectivo de tamaño de las cavidades, con alteraciones estructurales mínimas en la prótesis valvular biológica y con un flujo sanguíneo Doppler normal, sin alteraciones estructurales o funcionales en las demás válvulas.

La fracción de acortamiento ventricular izquierdo debe ser normal.

- iii. Ausencia demostrada de enfermedad coronaria a no ser que haya sido alcanzada una revascularización satisfactoria (ver párrafo 7 superior).
- iv. No se requiere ninguna medicación cardioactiva.
- v. La AMS determinará que se haga un seguimiento con ECG de esfuerzo y ecocardiografía 2D, según sea necesario.

Una evaluación de apto en Clase 1 debe limitarse a multipiloto (OML Clase 1). Puede producirse una evaluación positiva de los solicitantes de Clase 2 sin limitaciones.

10. Los solicitantes, después de una terapia anticoagulante, deben ser revisados por la AMS. La trombosis venosa y la embolia pulmonar constituyen causa de descalificación mientras no sea posible interrumpir el tratamiento anticoagulante. La embolia pulmonar requiere una evaluación completa. El tratamiento anticoagulante por posible tromboembolia arterial es causa de descalificación.
11. Los solicitantes con anomalías del epicardio/miocardio y endocardio, primarias o secundarias, deberán evaluarse como no aptos hasta que haya tenido lugar una resolución clínica. Una evaluación cardiovascular realizada por la AMS podrá necesitar que se incluya una ecocardiografía Doppler 2D, una ergometría, una monitorización Holter 24 horas y gammagrafía miocárdica/ecocardiografía de esfuerzo. También puede estar indicada la coronariografía. Pueden requerirse, después de la certificación, revisiones frecuentes y la restricción de operación multipiloto (OML Clase 1) o la condición de llevar un piloto de seguridad (OSL Clase 2).
12. Los solicitantes con cardiopatías congénitas, incluyendo las corregidas quirúrgicamente, serán normalmente evaluados como no aptos a menos que el proceso patológico tenga poca importancia funcional y no se requiera medicación. Se requerirá una evaluación cardiológica por la AMS. Las investigaciones podrán incluir un ecocardiograma Doppler 2D, ergometría y un Holter de 24 horas. Se requerirá una revisión cardiológica regular. Puede requerirse la restricción de operación multipiloto (OML Clase 1) y operación con piloto de seguridad (OSL Clase 2).
13. Los solicitantes que han sufrido episodios recurrentes de síncope deben someterse a las siguientes pruebas:
 - (a) Un ECG de esfuerzo de 12 derivaciones con limitación por los síntomas y hasta un estadio IV de Bruce, o equivalente, en el que un cardiólogo aceptado por la AMS interprete que no existen alteraciones. Si el ECG en reposo es patológico, se requieren gammagrafía miocárdica/ecocardiografía de esfuerzo.
 - (b) Una ecocardiografía Doppler 2D que muestre la ausencia de aumento de tamaño selectivo y significativo de las cavidades cardíacas, así como de alteraciones estructurales o funcionales en el corazón, las válvulas o el miocardio.
 - (c) Un ECG ambulatorio de 24 horas en el que no se observen alteraciones de la conducción ni tampoco trastornos del ritmo complejos o sostenidos, ni evidencia de isquemia miocárdica.
 - (d) Y puede incluir una prueba de basculación efectuada con un protocolo estándar en el que la opinión de un cardiólogo aceptado por la AMS sea la de que no existe evidencia de inestabilidad vasomotora.

Los solicitantes que cumplan estos criterios pueden ser considerados aptos, con restricción a operaciones de tripulación múltiple (OML Clase 1) o a operaciones con piloto de seguridad (OSL Clase 2) hasta que transcurran al menos 6 meses del episodio índice y siempre que no hayan existido recidivas. Normalmente, estará indicada la revisión neurológica. La certificación sin restricciones requiere un período de cinco años de ausencia de episodios.

Los períodos de consideración mayores o menores pueden ser aceptados por la AMS según las circunstancias individuales de cada caso. Los solicitantes que han presentado episodios de pérdida de conocimiento sin alarma significativa deben ser considerados como no aptos.

14. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico de este sistema.

Apéndice 2 de las Subpartes B y C

Sistema respiratorio. (Ver JAR-FCL 3.155, 3.160, 3.275 y 3.280.)

1. Se requiere un reconocimiento espirométrico en el reconocimiento inicial de Clase 1. Un cociente FEV1/FVC menor del 70% requerirá una evaluación realizada por un especialista en enfermedades respiratorias.
2. Los solicitantes que experimenten ataques recurrentes de asma deberán evaluarse como no aptos.
 - (a) La AMS puede considerar la certificación de Clase 1 si se estima estable con una prueba admisible de función pulmonar y la medicación es compatible con la seguridad en vuelo (ausencia de esteroides sistémicos).
 - (b) El AME puede considerar la certificación de Clase 2, con el asesoramiento de la AMS, si se estima estable con una prueba admisible de función pulmonar, con medicación compatible con la seguridad en vuelo (ausencia de esteroides sistémicos) y es remitido un informe completo a la AMS.
3. Los solicitantes con sarcoidosis activa serán no aptos. La AMS puede considerar la certificación si la enfermedad es:
 - (a) plenamente investigada con respecto a la posibilidad de afectación sistémica; y
 - (b) limitada a linfadenopatía hiliar inactiva y si el solicitante no requiere medicación.
4. Neumotórax espontáneo.
 - (a) Puede ser aceptable la certificación después de la completa recuperación de un neumotórax espontáneo, único y sin secuelas, un año después del evento con una evaluación respiratoria completa.
 - (b) La AMS puede evaluar como apto en la revalidación o renovación para operaciones multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2), si el solicitante se recupera completamente de un neumotórax espontáneo único después de seis semanas. La AMS puede considerar la aptitud sin restricciones después de un año, tras una evaluación respiratoria completa.
 - (c) Un neumotórax espontáneo recurrente es descalificante. La AMS puede considerar la certificación después de una intervención quirúrgica con una recuperación satisfactoria.
5. La neumonectomía es descalificante. La AMS puede considerar la certificación tras una cirugía torácica menor, después de una recuperación satisfactoria y una evaluación respiratoria completa. Pueden ser apropiadas las restricciones de operación multipiloto (OML Clase 1) o de piloto de seguridad (OSL Clase 2).
6. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 3 de las Subpartes B y C

Sistema digestivo. (Ver JAR-FCL 3.165, 3.170, 3.285 y 3.290.)

1.
 - (a) Los solicitantes con dispepsia recurrente que requiera medicación serán investigados.
 - (b) La pancreatitis es descalificante. La AMS puede considerar la certificación si se elimina la causa o el origen obstructivo (por ejemplo, fármacos, cálculos biliares).
 - (c) El alcohol puede ser una causa de dispepsia y de pancreatitis. Si se considera apropiado, puede requerirse una evaluación completa de su uso/abuso.

2. Después de su consideración por la AMS, pueden ser declarados aptos los solicitantes con un cálculo asintomático único y grande en la vesícula. La AMS podrá considerar la revalidación para operación multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2) a un individuo con colelitiasis múltiple asintomática.
3. La enfermedad inflamatoria crónica intestinal es aceptable siempre y cuando se haya establecido que está en remisión y estabilizada y no se requieren esteroides sistemáticos para su control.
4. La cirugía abdominal es descalificante por un mínimo de tres meses. La AMS podrá considerar una revalidación o renovación más temprana si la recuperación es completa, el solicitante está asintomático y es mínimo el riesgo de complicaciones secundarias o recurrencias.
5. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 4 de las Subpartes B y C

Trastornos nutricionales, metabólicos y endocrinos. (Ver JAR-FCL 3.175 y 3.295.)

1. Una alteración metabólica, nutricional o endocrinológica es descalificante. Puede considerarse por la AMS la revalidación si la condición es asintomática, clínicamente compensada y estable con o sin terapia sustitutiva, y es revisada regularmente por un especialista apropiado.
2. La glucosuria y los niveles anormales de glucemia requieren investigación. La AMS puede considerar la certificación si se comprueba una tolerancia a la glucosa normal (umbral renal bajo) o si la tolerancia disminuida a la glucosa, sin diabetes secundaria, está completamente controlada con dieta y revisada regularmente.
3. El uso de fármacos antidiabéticos es descalificante. Sin embargo, puede aceptarse el uso de biguanidas o inhibidores de la alfa glucosidasa en casos de Clase 1 con limitación para operación multipiloto (OML Clase 1) o de certificación sin restricciones para Clase 2.
4. La enfermedad de Addison es causa de descalificación. Se puede considerar la evaluación positiva para Clase 2 o para la revalidación o renovación de Clase 1 por parte de la AMS siempre y cuando el solicitante lleve cortisona y la tenga disponible para su uso mientras ejerce las atribuciones otorgadas por la licencia. Puede ser necesaria una limitación OML u OSL.
5. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 5 de las Subpartes B y C

Hematología. (Ver JAR-FCL 3.180 y 3.300).

1. Las anemias demostradas por un nivel reducido de hemoglobina requieren investigación. La anemia que no responde al tratamiento es descalificante. La AMS podrá considerar la certificación en los casos donde la causa primaria ha sido satisfactoriamente tratada (por ejemplo, deficiencias de hierro o deficiencia de B12) y el hematocrito se ha estabilizado en más del 32%, o cuando se diagnostica una talasemia menor o hemoglobinopatías sin un historial de crisis y cuando se demuestra la capacidad funcional completa.
2. El aumento de tamaño de los componentes del sistema linfático requiere investigación. La AMS podrá considerar la certificación en los casos de procesos infecciosos agudos que estén completamente recuperados, o el linfoma de Hodgkin y el linfoma no-Hodgkin de alto grado cuyo tratamiento haya finalizado y esté en remisión completa.
3. La AMS podrá considerar la aptitud en casos de leucemia crónica.
4. La esplenomegalia requiere investigación. La AMS podrá considerar la certificación cuando el aumento de tamaño es mínimo, estable y no se demuestra ninguna patología asociada (por ejemplo, malaria crónica tratada), o si el crecimiento es mínimo y asociado con otra condición aceptable (por ejemplo, linfoma de Hodgkin en remisión).

5. La policitemia requiere investigación. La AMS podrá considerar la certificación con limitación multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2) si la condición es estable y no se demuestra ninguna patología asociada.
6. Los defectos significativos de la coagulación requieren investigación. La AMS podrá considerar la certificación con limitación multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2) si no hay historial de sangrado significativo o episodios de trombosis.
7. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 6 de la Subpartes B y C

Sistema urinario. (Ver JAR-FCL 3.185 y 3.305).

1. Cualquier anomalía encontrada en el análisis de orina requiere investigación.
2. Un cálculo asintomático o historial de cólico nefrítico requiere investigación. Mientras se espera la evaluación o tratamiento, la AMS podrá considerar la revalidación con una restricción de operación multipiloto (OML Clase 1) o de piloto de seguridad (OSL Clase 2). La AMS podrá considerar la certificación sin restricciones después de un tratamiento satisfactorio. Para los cálculos residuales, la AMS podrá considerar la revalidación con una restricción de operación multipiloto (OML Clase 1) o de piloto de seguridad (OSL Clase 2), o revalidación de Clase 2 sin restricción.
3. La cirugía mayor urológica es descalificante por un período mínimo de tres meses. La AMS podrá considerar la certificación si el solicitante está completamente asintomático y es mínimo el riesgo de complicación secundaria o recurrencia.
4. El trasplante renal o la cistectomía total no es aceptable en el examen inicial de Clase 1. La revalidación podrá considerarse por la AMS en caso de:
 - (a) trasplante renal que esté completamente compensado y tolerado solo con terapia inmunosupresora mínima, después de 12 meses como mínimo; y
 - (b) la cistectomía total que esté funcionando satisfactoriamente sin ninguna indicación de infección o recurrencia de la patología primaria.

En ambos casos podrá considerarse necesaria la restricción de operación multipiloto (OML Clase 1) o de piloto de seguridad (OSL Clase 2).

5. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 7 de las Subpartes B y C

Enfermedades de transmisión sexual y otras infecciones. (Ver JAR-FCL 3.190 y 3.310.)

1. El VIH positivo es descalificante.
2. La AMS podrá considerar la revalidación o renovación de individuos con VIH positivo con limitación operación multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2) sujeta a revisiones frecuentes. La evolución a SIDA o complejo relacionado con el SIDA es descalificante.
3. La sífilis aguda es descalificante. La AMS podrá considerar la certificación en el caso de los tratados y recuperados completamente de los estadios primario y secundario.
4. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 8 de la Subpartes B y C

Ginecología y obstetricia. (Ver JAR-FCL 3.195 y 3.315.)

1. La AMS o el AMC o el AME en coordinación con la AMS puede evaluar como aptas a las tripulantes embarazadas durante las primeras 26 semanas de gestación después de una revisión de

la evaluación obstétrica. La AMS o el AMC o el AME deberán proporcionar consejo por escrito tanto a la solicitante como a su ginecólogo en cuanto a las potenciales complicaciones significativas del embarazo (ver Manual). Las titulares de un certificado de Clase 1 serán restringidas a operación multipiloto (OML Clase 1). En el caso de embarazadas titulares de un certificado de Clase 1, esta limitación puede ser impuesta y removida por el AME o AMC informando a la AMS, después del parto o terminación del embarazo.

2. La cirugía ginecológica mayor es descalificante por un mínimo de tres meses. La AMS podrá considerar una revalidación más temprana si la titular está completamente asintomática y hay solo un mínimo riesgo de complicación secundaria o recurrencia.
3. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 9 de la Subpartes B y C

Requisitos musculoesqueléticos. (Ver JAR-FCL 3.200 y 3.320.)

1. Un físico anormal, incluyendo la obesidad, o debilidad muscular podrán requerir una prueba médica en vuelo o en simulador de vuelo aprobadas por la AMS.

Deberá prestarse una particular atención a los procedimientos de emergencia y evacuación. Pueden requerirse restricciones para tipo(s) específico(s) (OAL), para operación multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2).

2. La AMS podrá considerar la certificación para Clase 2 o la revalidación para Clase 1, en casos de deficiencia de miembros según JAR-FCL 3.125, después de una prueba médica satisfactoria en vuelo o en simulador de vuelo.
3. La AMS puede considerar la certificación del solicitante con enfermedades inflamatorias, infiltrativas, traumáticas o degenerativas del sistema musculoesquelético.

Considerando que la enfermedad esté en remisión, el solicitante no está tomando medicación descalificante y se ha completado satisfactoriamente, cuando sea necesario, una prueba médica en vuelo o en simulador de vuelo, podrá requerirse la restricción a una clase(s) específica(s) (OAL), a operación multipiloto (Clase 1 OML) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2).

4. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 10 de las Subpartes B y C

Requisitos psiquiátricos. (Ver JAR-FCL 3.205 y 3.325.)

1. Un cuadro establecido de esquizofrenia, trastorno esquizotípico o trastorno de delirio es descalificante. Solo podrá considerarse la certificación si la AMS está convencida de que el diagnóstico original era inapropiado o inexacto, o en el caso de un único episodio patológico de delirio, siempre y cuando el solicitante no presente una alteración permanente.
2. Un trastorno del estado de ánimo establecido es descalificante. La AMS podrá considerar la certificación después de la consideración detallada de cada caso, según las características y la gravedad del trastorno del estado de ánimo y después de que toda la medicación psicotrópica se ha interrumpido durante un período de tiempo apropiado.
3. Un único intento autolítico o conductas anormales repetitivas de autolesión deliberada son descalificantes. La AMS podrá considerar la certificación después de una completa valoración de un caso particular y puede requerir una revisión psicológica o psiquiátrica. Puede ser necesaria una evaluación neuropsicológica.
4. Los trastornos mentales del comportamiento debidos al alcohol o al uso de otras sustancias, con o sin dependencia, son causa de descalificación. Se puede considerar la certificación por parte de la AMS tras un período de dos años de abstinencia documentada o de ausencia de consumo



de la AMS tras un período de dos años de abstinencia documentada o de ausencia de consumo de sustancias. La revalidación se puede considerar antes, en cuyo caso puede ser adecuada una limitación de tripulación múltiple (OML Clase 1) o una limitación de piloto de seguridad (OSL Clase 2). Según cada caso individual, y a discreción de la AMS, el tratamiento y la revisión pueden incluir:

- (a) un mínimo de varias semanas de tratamiento como paciente ingresado, seguido de
- (b) una revisión de un psiquiatra aceptado por la AMS, y
- (c) revisión continuada que incluya análisis de sangre e informes de sus compañeros que puede ser requerido indefinidamente.

Apéndice 11 de las Subpartes B y C

Requisitos neurológicos. (Ver JAR-FCL 3.210 y 3.330.)

1. Cualquier enfermedad estabilizada o progresiva del sistema nervioso que haya causado o pueda causar una incapacidad significativa es descalificante. Sin embargo, en casos de pérdidas funcionales menores, asociadas con enfermedades estacionarias, la AMS puede considerar la aptitud, después de una evaluación completa.
2. Una historia de uno o más episodios de alteración de conciencia por causa desconocida es descalificante. En caso de un episodio singular que pueda ser satisfactoriamente explicado, puede considerarse la aptitud por la AMS, pero la recurrencia será descalificante.
3. Las anomalías EEG epileptiformes paroxísticas y las ondas lentas focales son normalmente descalificantes. La AMS llevará a cabo una evaluación más detallada.
4. Un diagnóstico de epilepsia es descalificante, a no ser que sea evidencia inequívoca de un síndrome de epilepsia infantil benigna con muy pequeño riesgo de recurrencia y a no ser que el solicitante esté libre de recurrencia y de tratamiento desde hace más de 10 años. Uno o más episodios convulsivos después de los 5 años es descalificante. Sin embargo, en el caso de una convulsión sintomática aguda que se considera como de muy bajo riesgo de recurrencia por un neurólogo aceptado por la AMS, puede evaluarse apto por la AMS.
5. Un solicitante que haya presentado una convulsión epileptiforme afebril única que no se haya repetido tras al menos 10 años sin tratamiento, y que no presente evidencia de predisposición continuada a la epilepsia, puede recibir una licencia si se considera que el riesgo de nuevas convulsiones está dentro de los límites aceptables por la AMS. En lo que se refiere a la certificación Clase 1, se debe aplicar una limitación «OML».
6. Cualquier traumatismo craneoencefálico cuya intensidad haya sido suficiente como para causar pérdida de conocimiento, o bien se haya asociado a lesión cerebral penetrante, debe ser evaluado por la AMS y debe ser observado por un neurólogo consultor aceptado por la AMS. Se debe haber producido una recuperación completa y debe existir un riesgo bajo (en los límites aceptables por la AMS) de epilepsia antes de que sea posible la revalidación.
7. La consideración de los solicitantes con antecedentes de lesión medular o de nervios periféricos se debe contemplar en conjunto con los requisitos musculoesqueléticos, recogidos en los apéndices y en el capítulo correspondiente del Manual.
8. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema. Todos los tumores cerebrales malignos son causa de descalificación.

Apéndice 12 de las Subpartes B y C

Requisitos oftalmológicos. (Ver JAR-FCL 3.215 y 3.335.)

1. (a) En la evaluación inicial para la obtención del certificado médico de Clase 1, la evaluación oftalmológica debe ser realizada por un oftalmólogo aceptado por la AMS, o por un especialista de la visión aceptado por la AMS. Todas las alteraciones observadas y los casos dudosos deben ser remitidos a un oftalmólogo aceptado por la AMS.

- (b) En la exploración inicial para la obtención del certificado médico de Clase 2 la exploración debe ser efectuada por un oftalmólogo aceptado por la AMS o por un especialista de la visión aceptado por la AMS, o bien, a discreción de la AMS, por un AME. Los casos anormales o dudosos se remitirán a un oftalmólogo aceptado por la AMS. Los solicitantes que requieran corrección visual para cumplir los estándares deben remitir una copia de la prescripción más reciente de sus gafas.
2. En cada evaluación de renovación o de revalidación de medicina aeronáutica es necesario determinar la capacidad visual del titular de la licencia en ambos ojos, así como descartar cualquier posible patología. Todas las alteraciones observadas y los casos dudosos deben ser remitidos a un oftalmólogo aceptado por la AMS.
 3. Debido a las diferencias en la provisión de los servicios de optometría en los distintos Estados Miembro de las JAA, en lo que se refiere a estos requerimientos, cada AMS nacional debe determinar si la formación y la experiencia de sus especialistas de la visión es aceptable para estas evaluaciones.
 4. Los trastornos que indican la necesidad de evaluación por un especialista en oftalmología son, entre otros, la disminución sustancial de la agudeza visual no corregida, cualquier reducción de la agudeza visual con la mejor corrección posible, o la existencia de enfermedades, lesiones o cirugía oculares.
 5. La evaluación de las neoplasias en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 13 de las Subpartes B y C

Requisitos visuales. (Ver JAR-FCL 3.215, 3.220, 3.335 y 3.340.)

1. El error en la refracción y el rendimiento funcional constituirá el criterio principal para la valoración.
2. (a) Clase 1. Para aquellos que alcanzan los estándares funcionales de performance solo con lentes correctoras la AMS puede considerar la aptitud para Clase 1 si el error de refracción no excede de +5 a -6 dioptrías y si:
 - (1) no se comprueba ninguna patología significativa;
 - (2) se ha considerado la forma de corrección óptima;
 - (3) se ha realizado una revisión cada 5 años por un oftalmólogo aceptado por la AMS, si el error de refracción está fuera del rango de +/-3 dioptrías.
- (b) Clase 1. La AMS puede considerar la evaluación positiva para revalidación o renovación si la refracción miópica es mayor que -6 dioptrías:
 - (1) no se puede comprobar ninguna patología significativa;
 - (2) se ha considerado la corrección óptima;
 - (3) se ha realizado una revisión bianual por un oftalmólogo aceptado por la AMS a aquellos con una refracción miópica mayor de -6 dioptrías.
- (c) Clase 2. Si el error de refracción está en la gama de -5/-8 dioptrías en el examen inicial o excediendo -8 dioptrías en la revalidación o renovación, la AMS puede considerar una certificación de Clase 2 siempre que:
 - (1) no se pueda demostrar ninguna patología significativa;
 - (2) se haya considerado la corrección óptima.
3. Astigmatismo.
 - Clase 1. La AMS puede considerar la certificación en la revalidación o renovación si el componente astigmático es mayor que 3,0 dioptrías y:
 - (1) no se puede demostrar patología significativa;
 - (2) se ha considerado una corrección óptima;
 - (3) se realiza una revisión bianual por un oftalmólogo aceptado por la AMS.
4. Queratoconos. La AMS puede considerar la revalidación tras el diagnóstico de un queratocono siempre y cuando:

- (a) se cumplan los requisitos visuales mediante el uso de lentes correctoras;
- (b) se realice una revisión por parte de un oftalmólogo aceptado por la AMS. La frecuencia será determinada por la AMS.

5. Anisometropía.

Clase 1. La AMS puede considerar la certificación en la revalidación o renovación si la anisometropía es mayor que 3,0 dioptrías y:

- (1) no se puede demostrar patología significativa;
- (2) se ha considerado una corrección óptima;
- (3) se realiza una revisión bianual por un oftalmólogo aceptado por la AMS.

6. Monocularidad.

- (1) La monocularidad implica no aptitud para los certificados de Clase 1.
- (2) En el caso de un solicitante de Clase 2 inicial que es funcionalmente monocular, la AMS puede considerar la certificación si:
 - (a) La monocularidad ocurre antes de los 5 años de edad del solicitante.
 - (b) En el momento del examen inicial el ojo mejor alcanza:
 - (i) Una agudeza visual lejana (sin corrección) de al menos 6/6.
 - (ii) No hay error de refracción.
 - (iii) No hay historia de cirugía refractiva.
 - (iv) No hay patología significativa.
 - (c) Debe resultar satisfactoria una prueba en vuelo realizada por un piloto cualificado aceptado por la Autoridad, que esté familiarizado con las dificultades potenciales asociadas con la monocularidad.
 - (d) Se pueden aplicar limitaciones operativas, tal como indique la autoridad de aviación.
- (3) La AMS puede considerar la certificación en la revalidación o renovación de Clase 2 si la patología detectada es aceptable de acuerdo con una evaluación hecha por un oftalmólogo y sujeta a una prueba en vuelo satisfactoria realizada por un piloto cualificado aceptado por la Autoridad que esté familiarizado con las dificultades asociadas a la monocularidad.

Pueden aplicarse limitaciones operativas tal como indique la Autoridad.

- (b) Los solicitantes con visión central en un ojo por debajo de los límites señalados en JAR-FCL 3.220 se puede considerar para la revalidación de Clase 1 si el campo de visión binocular es normal y la patología subyacente es aceptable según la evaluación efectuada por un oftalmólogo.

Es necesario un resultado satisfactorio en la prueba de vuelo y limitación multipiloto (OML Clase 1).

- (c) En el caso de la reducción de la visión en un ojo por debajo de los límites señalados en JAR-FCL 3.340, se puede considerar la revalidación de Clase 2 si la patología subyacente y la capacidad visual del ojo restante son aceptables tras la evaluación oftalmológica efectuada por un oftalmólogo aceptado por la AMS. Se requiere en una prueba médica en vuelo satisfactoria, si estuviera indicada.
 - (d) Un solicitante con defecto en el campo visual puede ser considerado apto si el campo visual binocular es normal y la patología principal es aceptable para la AMS.
7. Heteroforias. El solicitante o el titular de un certificado debe ser revisado por un oftalmólogo aceptado por la AMS. La reserva de fusión debe ser evaluada mediante un método aceptable para la AMS (por ejemplo, la prueba de fusión binocular rojo/verde de Goldman).
8. Tras la cirugía de refracción, se puede considerar la certificación Clase 1 y Clase 2 por parte de la AMS siempre y cuando:
- (a) la refracción antes de la intervención (definida por JAR-FCL 3.220[b] y 3.340[b]) fuera no mayor de +5 0 –6 dioptrías para la Clase 1 no mayor de +5 o –8 dioptrías para la Clase 2;
 - (b) se haya conseguido una estabilidad satisfactoria de la refracción (variación diurna inferior a 0.75 dioptrías);
 - (c) el examen del ojo demuestre la ausencia de complicaciones postoperatorias;

- (d) la sensibilidad frente al resplandor esté dentro de límites normales;
 - (e) no esté alterada la sensibilidad mesópica frente al contraste;
 - (f) se realiza una revisión por un oftalmólogo aceptado por la AMS a discreción de la misma.
9. (a) Cirugía de cataratas. Se puede considerar la certificación de Clase 1 y de Clase 2 por parte de la AMS al cabo de 3 meses.
- (b) Cirugía de la retina. Se puede considerar la certificación de Clase 2 y para revalidación o renovación de Clase 1 por parte de la AMS normalmente a los 6 meses de la cirugía con buenos resultados. Puede ser aceptada la certificación por la AMS para Clase 1 y Clase 2 después de terapia láser en la retina. Si es necesario, se realizará un seguimiento que será determinado por la AMS.
- (c) Cirugía del glaucoma. Se puede considerar la certificación por parte de la AMS a los 6 meses de la cirugía con buenos resultados para Clase 2 o la revalidación o renovación de Clase 1. Si es necesario, se realizará un seguimiento que será determinado por la AMS.

Apéndice 14 de las Subpartes B y C

Percepción de colores.

(Ver JAR-FCL 3.225 y 3.345.)

1. El test de Ishihara (versión de 24 láminas) se considerará superado si las primeras 15 láminas son identificadas correctamente sin incertidumbre ni vacilación (menos de 3 segundos por lámina). Las láminas se deben presentar al azar. Para las condiciones de luz ver el Manual de Medicina de Aviación Civil de las JAA.
2. Aquellos que no superen el test de Ishihara deberán ser examinados por:
 - (a) Anomaloscopía (Nagel o equivalente). Este test se considera superado si el reconocimiento de colores es tricromata y el rango de identificación es de 4 unidades de la escala o menor.
 - (b) Test de la linterna. Este test se considera superado si el solicitante pasa sin error una prueba con linternas aceptadas por la AMS, como las de Holmes Wright, Beynes o Spectrolux.

Apéndice 15 de las Subpartes B y C

Requisitos otorrinolaringológicos.

(Ver JAR-FCL 3.230 y 3.350.)

1. En el reconocimiento inicial deberá llevarse a cabo un reconocimiento ORL exhaustivo (véase el Manual de Medicina Aeronáutica) por, o bajo la orientación y supervisión de un AMC o especialista en otorrinolaringología de aviación aceptado por la AMS.
2. En los reconocimientos de revalidación o renovación todos los casos anormales y dudosos dentro del área ENT deberán ser remitidos a un especialista en otorrinolaringología de aviación aceptado por la AMS.
3. Una única perforación timpánica seca de origen no infeccioso y que no interfiera con la función normal del oído puede considerarse aceptable para la certificación.
4. La presencia de nistagmus espontáneo o posicional deberá implicar una evaluación vestibular completa realizada por un especialista aceptado por la AMS. En estos casos no podrá ser aceptada ninguna respuesta vestibular rotacional o respuesta anormal a estímulo calórico.

En los reconocimientos de revalidación o renovación las respuestas vestibulares anormales serán calificadas en su contexto clínico por la AMS.

5. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 16 de las Subpartes B y C

Requisitos auditivos. (Ver JAR-FCL 3.235 y 3.355.)

1. La audiometría de tonos puros cubrirá las frecuencias 500-3.000 Hz. Los umbrales de frecuencia serán determinados como se indica a continuación:
500 Hz.
1.000 Hz.
2.000 Hz
3.000 Hz.
2. (a) Los casos de hipoacusia serán remitidos a la AMS para posterior valoración y evaluación.
(b) La AMS podrá considerar la revalidación si puede comprobarse una audición satisfactoria en un campo ruidoso equivalente a las condiciones habituales de trabajo en cabina durante todas las fases del vuelo.

Apéndice 17 de las Subpartes B y C

Requisitos psicológicos. (Ver JAR-FCL 3.240 y 3.360.)

1. Indicación. Se realizará de una evaluación psicológica como parte o complemento de un reconocimiento realizado por psiquiatras o neurólogos, cuando la Autoridad reciba información verificable de una fuente identificable que provoque dudas sobre la idoneidad mental o personalidad de un individuo en particular. Las fuentes de esta información pueden ser accidentes o incidentes, problemas en la formación o verificaciones de competencia, delincuencia o conocimientos relevantes para el ejercicio seguro de las atribuciones que les otorguen las licencia(s) correspondiente(s).
2. Criterios psicológicos. La evaluación psicológica podrá incluir la recogida de datos biográficos, criterios sobre la aptitud así como tests de personalidad y una entrevista psicológica.

Apéndice 18 de las Subpartes B y C

Requisitos dermatológicos. (Ver JAR-FCL 3.245 y 3.365.)

1. Cualquier condición de la piel que cause dolor, molestias, irritación o picor puede distraer al tripulante de sus tareas y afectar a la seguridad en vuelo.
2. Cualquier tratamiento de la piel, sea farmacológico o en forma de radioterapia, puede tener efectos sistémicos que deben considerarse antes de la certificación. Puede requerirse una limitación a operaciones multipiloto (OML Clase 1) o con piloto de seguridad (OSL Clase 2).
3. Condiciones malignas o premalignas de la piel.
 - (a) El melanoma maligno, el epiteloma de células escamosas, la enfermedad de Bowen y la de Paget son descalificantes. La AMS podrá considerar la certificación si, cuando sea necesario, las lesiones están totalmente eliminadas y hay un adecuado seguimiento.
 - (b) En el caso de basalioma, queratoacantoma y queratosis actínica se puede considerar la certificación por la AMS si, cuando sea necesario, las lesiones han sido totalmente extirpadas y se hace un adecuado seguimiento.
4. En el caso de otras enfermedades de la piel:
 - (a) Eccema agudo o crónico diseminado.
 - (b) Reticulosis cutánea.
 - (c) Problemas dermatológicos secundarios en enfermedad sistémica, y problemas similares, requieren consideración del tratamiento y cualquier otra condición subyacente antes de la evaluación por la AMS.
5. La evaluación de las condiciones malignas en este sistema se explica también en el capítulo de Oncología del Manual, donde se proporciona información referente a la certificación y debería ser consultado junto con el capítulo específico a este sistema.

Apéndice 19 de las Subpartes B y C

Requisitos oncológicos. (Ver JAR-FCL 3.246 y 3.370.)

1. Se pueden considerar la certificación Clase 1 por la AMS y la certificación Clase 2 por el AME de acuerdo con la AMS, si:
 - (a) No hay evidencia de enfermedad maligna residual tras el tratamiento.
 - (b) Ha transcurrido desde que finalizó el tratamiento el período de tiempo adecuado según el tipo de tumor.
 - (c) El riesgo de incapacidad durante el vuelo por recidiva o metástasis está dentro de los límites aceptables por la AMS.
 - (d) No hay evidencia de secuelas a corto o largo plazo por el tratamiento. Se prestará especial atención a los solicitantes que han recibido tratamiento de quimioterapia con antraciclinas.
 - (e) Las disposiciones respecto al seguimiento son aceptables para la AMS.
2. Para la revalidación pueden ser apropiadas las restricciones de multipiloto (OML Clase 1) o de piloto de seguridad (OSL Clase 2).

8.9. MANTENIMIENTO DE LOS AVIONES

En ningún sistema de transporte existe una reglamentación más severa desde el punto de vista de seguridad. Con la excepción de los aviones de construcción amateur, los ultraligeros, el ala delta y el parapente, en los que el responsable es el propietario, en los aviones en general, el fabricante edita un manual de vuelo y un manual de mantenimiento que es aprobado por el Servicio General de Aviación Civil. Los trabajos de mantenimiento deben efectuarse por parte de un taller autorizado por Aviación Civil.

El manual de mantenimiento establece un calendario de revisiones diferentes, que en el caso de la aviación ligera es de 50, 100, 200, 500, 1.000 y 2.000 horas. La revisión general (TBO: *Time Between Overhaul*), en la que se desmonta todo el avión y se cambian las piezas con defectos de uso, tiene lugar, según el tipo de aeronave, a las 1.800, 2.000 o 2.400 horas. En el caso de los grandes jets, la revisión de un motor de reacción tiene lugar a más de 6.000 horas de vuelo frente a las 2.000 horas típicas de un motor de explosión.

Cada año el avión debe renovar el certificado de aeronavegabilidad, que es una comprobación por parte de un ingeniero aeronáutico de que el avión está en condiciones de vuelo.

Por otro lado, aunque el avión no vuele, su mantenimiento cuesta dinero, pues es obligatorio efectuar una revisión por calendario a los 12, 36 y 72 meses, y en el caso de que el avión esté prácticamente abandonado, es necesario realizar una revisión exhaustiva, para ponerlo nuevamente en vuelo.

El manejo y mantenimiento de un ULM es la responsabilidad del propietario que puede efectuar el mantenimiento por su cuenta, lo que hace que el vuelo con ultraligero sea muy económico y esté al alcance de cualquier bolsillo. El Real Decreto 2876/1982, de 15 de octubre, regula el registro y uso de aeronaves de estructura ultraligera. Fue modificado por el Real Decreto 1591/1999, de 15 de octubre. En la

Orden de 14 de noviembre de 1988, se establecen los requisitos de aeronavegabilidad para las aeronaves ultraligeras motorizadas (ULM) (BOE nº 277, de 18 de noviembre de 1988). Fueron modificados parcialmente por la Orden FOM 22/25/2003 de 28 de julio.

9.1. GENERALIDADES

Aparentemente el desplazamiento en vuelo de una aeronave de un punto a otro de la Tierra, es muy sencillo. Pero el hecho de que el avión se mueve en el seno del aire a una velocidad relativamente alta, en un tiempo limitado por la cantidad de combustible y en unas condiciones atmosféricas que obligan de cuando en cuando a cambiar de rumbo, obliga al piloto a calcular con frecuencia su posición para llegar a su destino sin incidencias.

Las técnicas de navegación que puede emplear el piloto dependen de las reglas de vuelo visual VFR (*Visual Flight Rules*) o instrumental IFR (*Instrument Flight Rules*). En el primer caso, la técnica utilizada es fijar un punto (*fix*) y, a partir de él, conociendo la velocidad, el tiempo, el rumbo y el viento, determinar otro punto en el trayecto que será el nuevo punto fijo (*fix*), y así sucesivamente. El piloto también puede apoyarse en ayudas a la navegación. En el vuelo IFR, el piloto navega exclusivamente por instrumentos, ayudas a la navegación o dirigido por radar por el control de tráfico aéreo.

9.2. LA TIERRA

La Tierra tiene la forma de una esfera achatada en los polos. Tiene dos polos geográficos (norte y sur) y dos polos magnéticos separados de los polos geográficos en un ángulo llamado *declinación* que varía según el lugar (entre 2° W y 4° W en España).

A efectos de definir la posición de cualquier punto de la Tierra, esta se ha dividido en círculos *paralelos* entre sí y perpendiculares al eje de rotación de la Tierra, llamados paralelos, y en círculos máximos de diámetro el geográfico de la Tierra que se llaman *meridianos*.

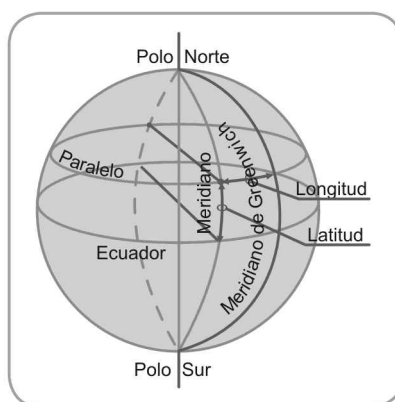


Figura 9.1. *La Tierra.*

9.2.1. Coordenadas: longitud y latitud

La *longitud* es la distancia angular medida sobre un paralelo entre un punto situado sobre dicho paralelo y el meridiano de referencia de medida que es el del observatorio de Greenwich (Londres). El valor máximo de la longitud es de $359^{\circ} 59' 59''$, ya que el siguiente valor es de 0° . También se acostumbra a usar la longitud este u oeste indicando que la medición de la longitud se hace hacia el este o bien hacia el oeste desde el meridiano de Greenwich, con lo cual su valor máximo sería de $180^{\circ} E$ o $180^{\circ} O$.

La *latitud* es la distancia angular medida sobre el meridiano correspondiente entre dicho punto y el paralelo máximo que es el ecuador. Es necesario indicar la palabra norte o sur para señalar que el punto se encuentra en el hemisferio Norte o en el Sur. El valor máximo de la latitud es de $90^{\circ} N$ o $90^{\circ} S$, es decir el Polo norte o el Polo sur. Por ejemplo, las coordenadas geográficas de los aeropuertos de Madrid y Barcelona son:

Madrid Barajas $40^{\circ} 28' 25,1''$ latitud N $03^{\circ} 33' 33,8''$ longitud E

Barcelona $41^{\circ} 17' 53,9''$ latitud N $02^{\circ} 04' 46,8''$ longitud E

9.2.2. Coordenadas UTM

Las coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) consisten en 60 zonas o husos que dividen el mapa, y cada huso tiene 20 bandas rectangulares identificadas con letras (de la C en el Polo Sur a la X en el Polo Norte). De este modo, España está incluida en el huso 28 (Islas Canarias), 29 (Galicia), 30 (centro de España y España occidental) y 31 (España oriental e Islas Baleares).

Cada zona UTM tiene un meridiano central que define su origen y dos meridianos límites separados 6° . De aquí que existan $360/6 = 60$ zonas. La base u origen de la zona UTM es el ecuador. Los límites superior e inferior están en las latitudes $84^{\circ} N$

y 80° S. El resto de las zonas de la Tierra corresponde a las coordenadas UPS (*Universal Polar Stereographic*).
El valor de referencia de la coordenada UTM se encuentra en la esquina inferior izquierda del cuadrado.

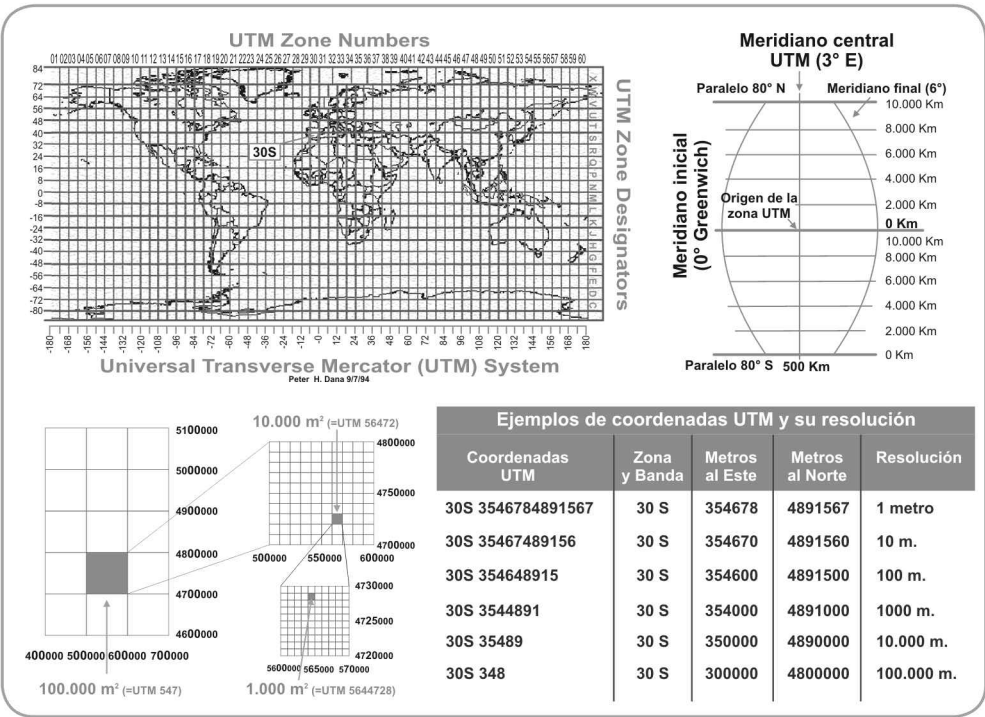


Figura 9.2. Coordenadas UTM.

9.3. CARTAS, MAPAS Y PUBLICACIONES

Las cartas aeronáuticas son proyecciones planas de la superficie de la Tierra en las que el cartógrafo intenta respetar los ángulos y/o las distancias. En aviación se utiliza la proyección cónica conforme de Lambert, en la que dos paralelos estándar se proyectan sobre un cono con vértice sobre el Polo Norte (o el Polo Sur). La escala suele ser de 1: 1'000.000, en la que un centímetro en el mapa representa 1'000.000 cm (10 km) en la realidad. Este tipo de proyección hace mínimas las distorsiones en las variables dirección y distancia, con lo que los rumbos y las distancias se miden directamente en la carta. La distancia más corta entre dos puntos es la llamada ruta *ortodrómica*, que es un arco de círculo máximo que corta a los meridianos con ángulos distintos. La ruta *loxodrómica* es aquella que corta a los meridianos con el mismo ángulo y que en tramos de menos de 1.000 km es prácticamente igual a la ruta ortodrómica. Es la que se utiliza normalmente en aviación general.

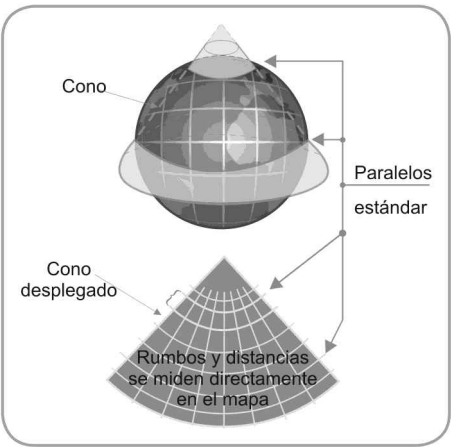


Figura 9.3. Proyección cónica conforme de Lambert.

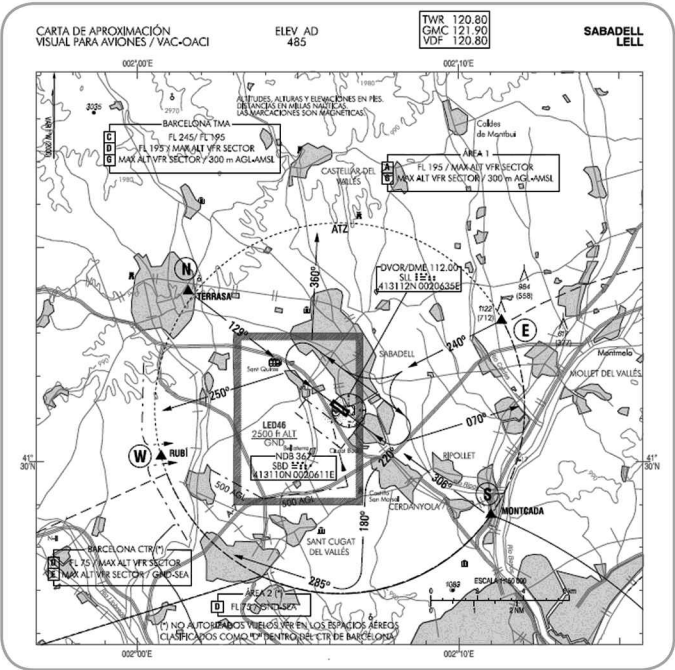


Figura 9.4. Carta aeronáutica VFR del aeropuerto de Sabadell. Fuente: AIP-España.

En los mapas y cartas aeronáuticos, la milla marina equivale a un minuto de arco, por lo que, leyendo los minutos de arco entre dos puntos situados en el mismo meridiano (tienen la misma longitud) se determina la distancia en millas que los separa. En los paralelos distintos del ecuador el minuto de arco no es una milla náutica y la distancia entre dos puntos viene dada por la diferencia de longitudes multiplicada por el coseno de la latitud del lugar. La milla náutica equivale a 1.852 metros.

Existen publicaciones de información aeronáutica, entre las cuales se encuentran las cartas Jeppesen, muy útiles en aviación general.

En las cartas aeronáuticas está dibujado el relieve a diferentes colores, destacando los puntos más altos con la altura dada en pies. La llamada altura mínima de seguridad de vuelo sobre el terreno, está representada con números altos y claramente visibles y centrada en cuadrículas de 1° de meridianos y paralelos. Esta altura mínima se encuentra a unos 300 pies por encima del punto más alto de la cuadrícula. Por ejemplo, 10^5 significa 10.500 pies.

9.4. RUMBOS GEOGRÁFICO Y MAGNÉTICO – DECLINACIÓN

El rumbo geográfico es el medido en las cartas como ángulo para ir desde un punto A a otro B, mientras que el rumbo magnético es el que hay que situar en la brújula magnética para ir también de A a B.

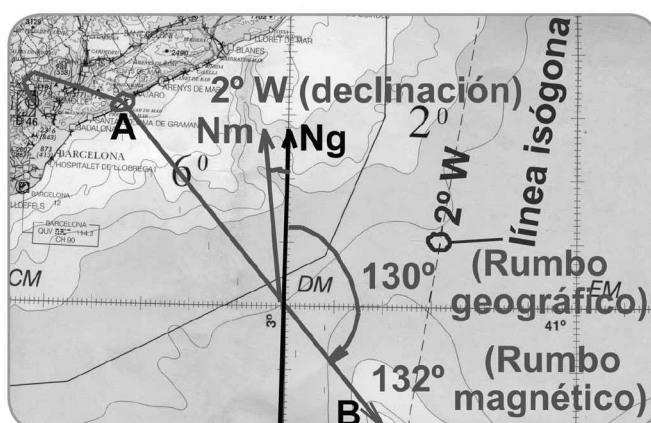


Figura 9.5. Declinación.

En nuestras latitudes, los polos magnéticos tienen un pequeño decrecimiento anual de unos $6'$ y la diferencia angular entre el norte geográfico y el magnético es el ángulo de declinación. La *declinación* puede ser oeste (W) o este (E), y las líneas que unen puntos de igual declinación se llaman líneas isógonas.

Teniendo en cuenta que la declinación este es positiva y la declinación oeste es negativa, se tiene:

$$\text{Rumbo magnético} = \text{Rumbo geográfico} - \text{Declinación}$$

9.5. CÁLCULO DE RUMBOS Y DISTANCIAS

Las cartas aeronáuticas que utilizan la proyección cónica conforme de Lambert son isógonas y permiten medir los rumbos directamente sobre la carta, así como la distancia.

De este modo, en un vuelo directo de Madrid a Barcelona el rumbo geográfico medido en la carta aeronáutica es de 61° y la distancia de 261 millas náuticas. Teniendo en cuenta que la declinación es de unos 4° oeste (4° W), el rumbo magnético será de $61^\circ + 4^\circ = 65^\circ$. Este es el rumbo que en vuelo leeremos en la brújula magnética.

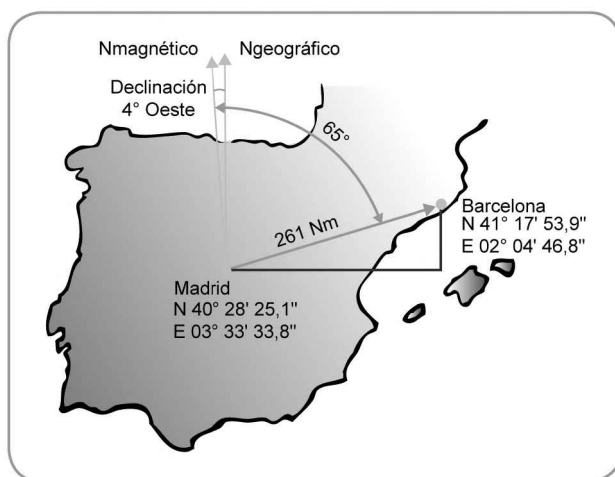


Figura 9.6. *Rumbos y distancias.*

9.6. TRIÁNGULO DE VELOCIDADES

En vuelo sin viento, la ruta sobre el suelo descrita por el avión es igual al rumbo. El viento desplazará el avión de su rumbo y la ruta verdadera descrita sobre el suelo diferirá del rumbo mantenido.

El viento puede ser representado por un vector definido por su dirección y su velocidad. La dirección del viento es la dirección de la que viene el viento, no a la que apunta el viento. De este modo, un viento de 180° 10 nudos significa un viento que viene del sur y de intensidad 10 nudos.

Para dibujar la ruta verdadera del avión se dibuja el llamado triángulo de velocidades. Para ir de un punto A a otro B se dibuja una recta que los une sobre el mapa. A continuación, se traza sobre ella partiendo del punto A, la velocidad verdadera del avión (TAS) y el viento estimado de 210° 20 nudos (el viento viene de 210°) y se unen los extremos de los dos vectores.

La resultante es la velocidad y el rumbo verdaderos que seguirá el avión. Como lo que interesa es ir desde el punto A al B, el avión deberá adoptar una corrección de deriva dada por el ángulo que forman las dos rectas.

Una regla de cálculo circular utilizada en aviación es la E6B que proporciona el cálculo de combustible, la corrección del viento, el tiempo de vuelo y otros datos. Realiza los siguientes cálculos:

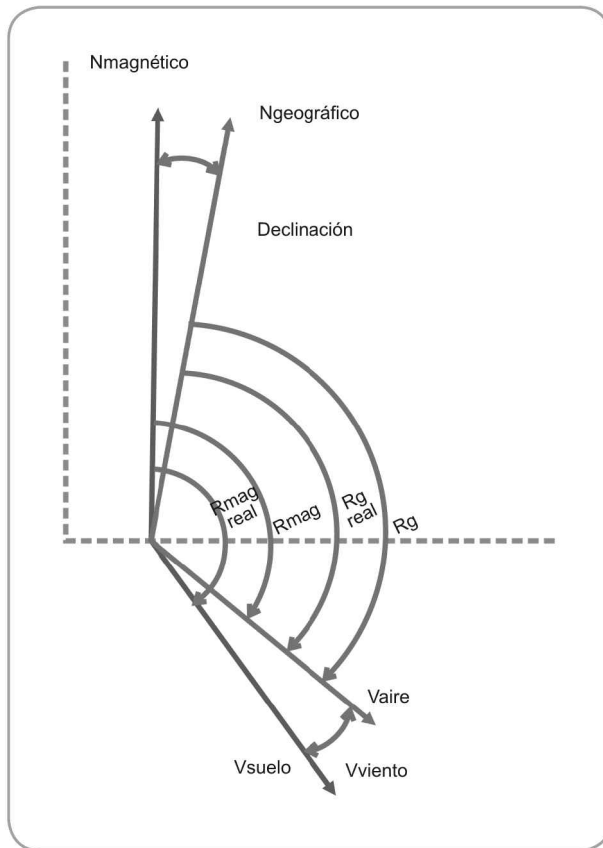


Figura 9.7. Triángulo de velocidades.

Ángulo de corrección del viento

$$WCA = \frac{1}{\text{seno} \left(\left(\frac{D * \text{seno} \left(\frac{(A - C) * \pi}{180} \right)}{B} \right) * \frac{\pi}{180} \right)}$$

Velocidad verdadera sobre el terreno

$$GS = \sqrt{B^2 + D^2 - 2 * B * D * \cos \frac{(A - C) * \pi}{180}}$$

Siendo: A = Rumbo deseado en grados

B = TAS (velocidad verdadera en el aire)

C = Dirección del viento en grados

D = Velocidad del viento

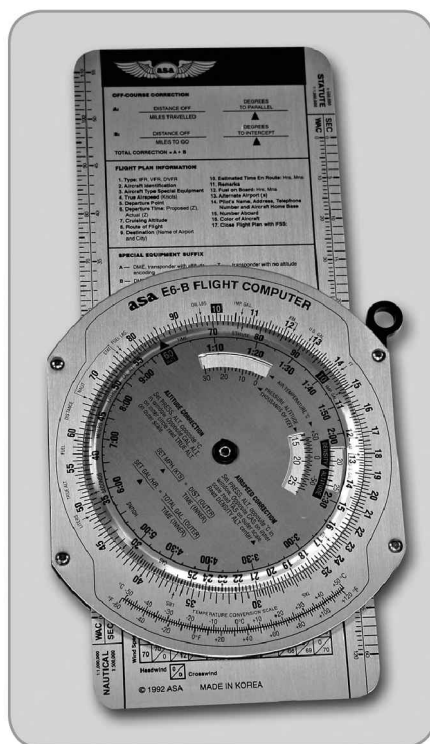


Figura 9.8. Regla de vuelo E6B.

9.7. NAVEGACIÓN OBSERVADA Y A LA ESTIMA

La navegación aérea visual que realiza el piloto se efectúa de tres maneras diferentes, la navegación observada, a la estima y la realizada con el apoyo de las ayudas a la navegación, en forma aislada o combinada.

- Navegación observada: identificación de los accidentes del terreno basándose en la lectura de las cartas, eligiendo puntos peculiares del terreno de fácil identificación (ríos, carreteras, vías férreas, autopistas, etc.).
- Navegación a la estima (*dead reckoning*): estimación de la posición real del avión mediante cálculos basados en la velocidad dada por el anemómetro, en el rumbo, en una estimación de la dirección y la velocidad del viento, y en el tiempo transcurrido entre puntos notables de fácil identificación. Completa la navegación observada y es útil en vuelos sobre el mar o en zonas de aspecto uniforme, sin accidentes destacables. A partir de esta estimación el piloto calcula la dirección a seguir.

Para realizar una buena navegación, es necesario trazar la ruta más idónea entre dos puntos de la Tierra. Deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

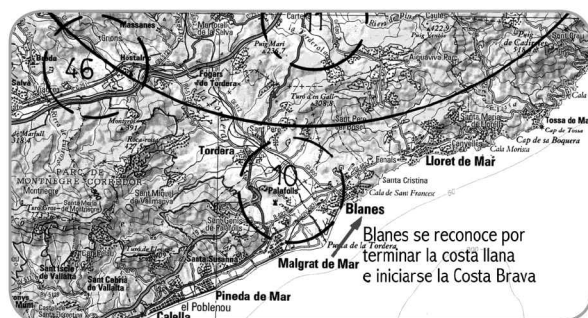


Figura 9.9. Navegación a la estima.

1. Velocidad de desplazamiento real (TAS: *True Air Speed*), para lo cual debe conocerse, aunque sea de modo aproximado, la velocidad relativa de crucero de la aeronave (IAS: *Indicated Air Speed*), la altura de vuelo adoptada, la temperatura y la velocidad del viento. Existen computadores de navegación que proporcionan la velocidad relativa rectificada, a la que falta añadir solamente la velocidad estimada del viento de acuerdo con las previsiones meteorológicas.
2. Evitar las zonas prohibidas (P), restringidas (R) y peligrosas (D).
3. Evitar las zonas de control local de la torre (ATZ) y las zonas de control de tránsito aéreo (CTR), a no ser que se prevea pedir autorización por radio, para cruzar dichas zonas.
4. Autonomía del avión, restándole unos 30 minutos por seguridad.
5. Previsión de rutas y aeropuertos alternativos en caso de empeoramiento de las condiciones atmosféricas del vuelo, ya que el piloto VFR (*Visual Flight Rule*) no puede volar dentro de nubes al no tener referencias visuales, y debe mantenerse a una distancia mínima de las nubes y con una visibilidad de vuelo mínima.
6. Altitud de vuelo que, si es superior a 3.000 pies sobre el terreno (AGL: *Above Ground Level*), la ruta magnética del avión debe corresponder a los valores de la figura 9.10, es decir, por ejemplo, si el avión vuela VFR con rumbo 120° el piloto podrá escoger 3.500, 5.500, 7.500, 9.500, etc., como altura de presión, colocando en la ventanilla de Kolsman del altímetro el valor de 1.013,2 mb (o 29,92 " Hg.).
7. División en tramos de la ruta seleccionada y medición precisa del tiempo en cada tramo, apuntando los datos reales en pleno vuelo, para comparar los valores de las velocidades y tiempos empleados y hacer posible su modificación dinámica sobre la marcha. Este procedimiento da al piloto una gran seguridad activa sobre el vuelo, puesto que conoce las posiciones que va alcanzando el avión a medida que el vuelo va transcurriendo.

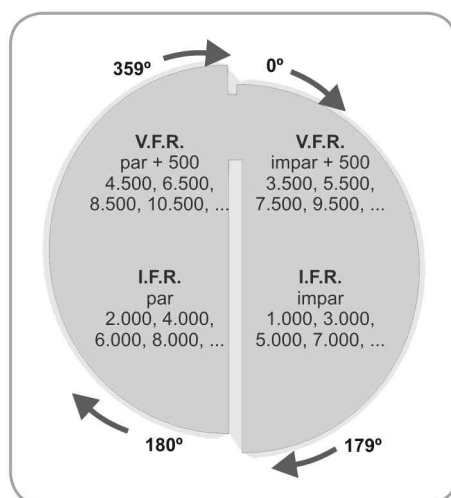


Figura 9.10. Regla semicircular.

8. El rumbo magnético del avión para alcanzar el punto de destino se obtendrá restando del ángulo de la ruta trazada en la carta aeronáutica, la declinación de la zona.

Un ejemplo notable de la navegación a la estima es el vuelo en solitario que realizó Charles Lindbergh a través del Atlántico en 1927, usando solo un instrumento giroscópico de bastón y bola, una brújula, un altímetro, un anemómetro, un indicador de rpm, un reloj, un manómetro y termómetro de aceite, un manómetro de combustible y deduciendo la velocidad del viento por el aspecto de las olas.

9.8. NAVEGACIÓN POR INSTRUMENTOS

Es la navegación realizada en función de las indicaciones de los equipos de navegación instalados a bordo (ADF, VOR, GPS, sistemas inerciales, etc.).

El ADF es un instrumento de navegación que recibe la señal de una emisora en tierra (radiofaro no direccional que transmite en todas direcciones) llamada NDB (*Non Directional Beacon*) y señala su dirección con relación al eje longitudinal de la aeronave. Permite alcanzar una estación orientando el avión de modo que la aguja del instrumento marque el valor cero (QDM = 0). Para compensar el posible viento lateral, el piloto puede estimar la componente del viento y corregir el rumbo con la desviación en grados adecuada, o bien, una vez establecido el rumbo hacia la estación, con la aguja en posición vertical marcando los cero grados, puede fijar la vista hacia un accidente o una marca del terreno prolongación del rumbo y dirigir el avión hacia el mismo.

Una vez lo ha alcanzado, vuelve a fijar el rumbo igual que antes en el cero de la estación, dirige la vista a otro punto lejano del terreno y va procediendo de este modo

hasta alcanzar la estación. Al cruzar la misma, la aguja oscilará y pasará de 0° a 180°, con lo cual el piloto sabrá que ha llegado a la vertical de la estación.

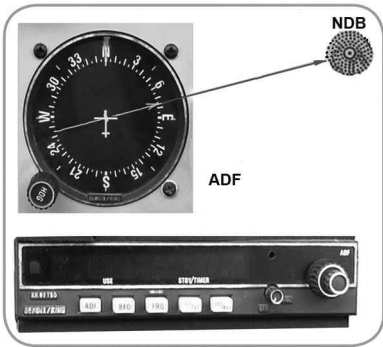


Figura 9.11. Navegación con ADF.

Es primordial identificar la posición de la estación emisora por su código de tres dígitos (radiofaros en código Morse; por ejemplo, Sabadell es 367 kHz, código SBD ([... -... -..]) para no dirigirse por error a una emisora equivocada. Las emisoras comerciales pueden también seleccionarse con la precaución, en caso de dirigir el avión a alguna de ellas, de saber dónde está la emisora.

El botón selector de rumbo gira la rosa de rumbos de modo que permite determinar el rumbo magnético hacia la estación. Con el botón se coloca el rumbo magnético del avión en la línea de marcación y, entonces, la aguja indicará el rumbo magnético hacia la estación.

Las señales usadas de baja frecuencia siguen la curvatura de la tierra y por lo tanto su recepción solo está limitada por la potencia de la emisora (alcance 75 a 600 millas náuticas). Para estimar la distancia a la estación se vira el avión hasta que la aguja del ADF señala la punta del ala derecha o izquierda (*abeam*: al través o perpendicular). Se anota el rumbo a la estación y el tiempo. Luego se continúa volando con el mismo rumbo hasta que la aguja cambia en 10° (u otro valor) anotando el número de segundos transcurridos.

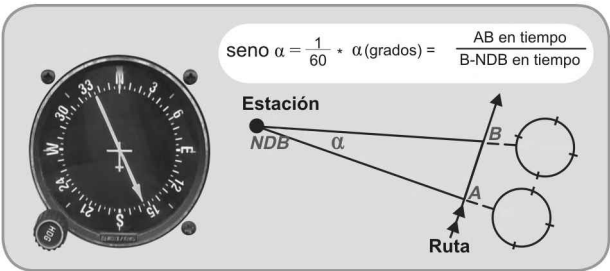


Figura 9.12. Regla 1/60 en el ADF.

La regla 1/60 nos permite determinar la distancia a la estación. Se basa en que para ángulos menores de 45° el seno del ángulo es igual a $1/60 = 0,01666$ veces el número de grados. Luego:

$$\text{Seno (ángulo)} = \frac{\text{Grados de variación del rumbo}}{60} = \frac{\text{Segundos de vuelo (de A a B)}}{\text{Segundos de vuelo (de B a NDB)}}$$

Y de aquí:

$$\frac{\text{Segundos de vuelo (de B a NDB)}}{60} = \text{Minutos a la estación} = \frac{\text{Tiempo en segundos de A a B}}{\text{Grados de variación del rumbo}}$$

$$\text{Millas náuticas a la estación (B - NDB)} = \frac{\text{TAS (nudos)} * (\text{Minutos de vuelo a la estación})}{\text{Grados de variación del rumbo}}$$

Por ejemplo, si el tiempo empleado en volar de A a B es de 3 min 40 seg (220 seg) y la velocidad del avión es 120 nudos (millas/hora).

$$\text{Minutos a la estación} = \frac{220}{10} = 22 \text{ minutos}$$

$$\text{Millas náuticas a la estación} = \frac{120 * 3,66}{10} = 44 \text{ millas}$$

Navegar hacia la estación sin viento es muy fácil, pues basta volar con la aguja del ADF en la parte superior central del instrumento. Si hay viento, para compensarlo, se vuela directamente a la estación NDB hasta que la aguja se desvíe. Esta desviación es el viento, de modo que se cambia el rumbo el doble de la desviación y en sentido contrario a la misma, y cuando la aguja se desvíe el mismo valor, se efectúa la mitad de la corrección y se comprueba si la aguja se estabiliza, repitiendo el proceso las veces que sean necesarias.

Para interceptar una ruta hacia (*inbound*) la estación NDB, se procede del modo siguiente:

1. Virar al rumbo que concuerda con el que se desea interceptar (por ejemplo, 0°).
2. Observar la deflexión de la aguja del ADF (rumbo relativo). Supongamos sea 60°.
3. Doblar este ángulo para el rumbo de intercepción. Será 120°, pero como no presenta ventajas interceptar el rumbo a más de 90°, o a menos de 20°, se escoge 90°.
4. Mantener el rumbo de 90° hasta que la aguja se desplace de la línea de marcación el número de grados igual al ángulo de intercepción (será 90°).
5. Interceptado el rumbo, virar hacia la estación (*inbound*) y seguir realizando correcciones del viento en el rumbo hasta alcanzar la estación NDB. Al pasar

por encima se cruza el llamado cono de silencio desviándose después la aguja al rumbo opuesto, o sea hacia abajo.

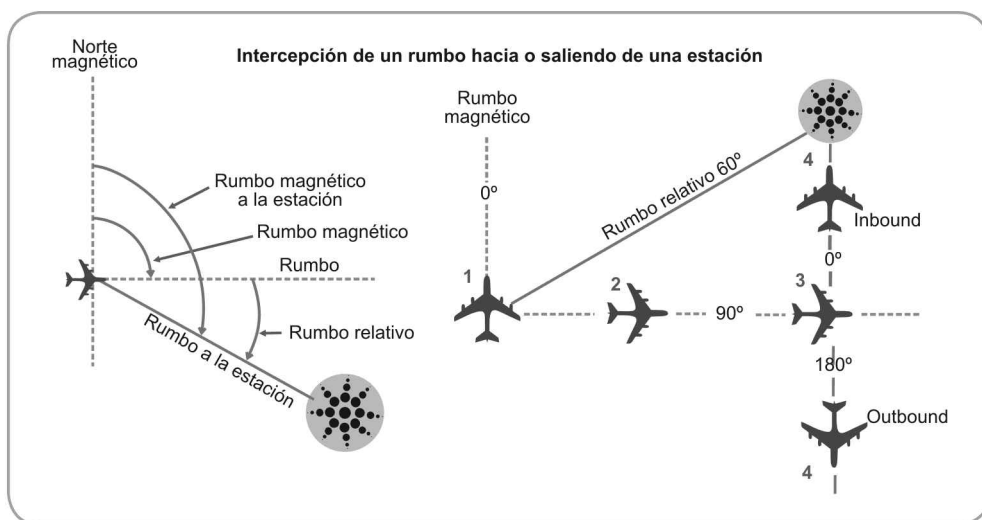


Figura 9.13. Interceptación de un rumbo hacia (inbound) o saliendo (outbound) de la estación.

Si el vuelo se realiza alejándose de la estación (*outbound*) se siguen los mismos procedimientos anteriores, considerando como referencia la línea 180° de la carátula del ADF.

El piloto debe tener en cuenta que las lecturas del ADF pueden ser alteradas por una tormenta (la aguja señalará más bien a la tormenta que a la estación), por estar en las proximidades de la costa o por volar durante el atardecer o a la salida del sol.

El VOR indica el radial que parte de la estación (FROM) (QDR) o bien el radial que permite ir hacia la estación (TO) (QDM), con lo cual, sintonizando dos estaciones con la bandera en FROM, y marcando los radiales en el mapa, el cruce de los mismos marca la posición del avión.

El vuelo hacia una estación se realiza con la bandera en TO y manteniendo el radial constante.

La aguja vertical CDI señala la desviación del avión con relación al radial seleccionado. Las desviaciones se indican en forma de puntos y cada punto equivale a 2° de desviación. Dependiendo de la distancia a la estación, estos puntos equivalen a:

A 1 milla náutica 1 punto (dot) = 200 pies.

A 30 millas náuticas 1 punto (dot) = 30*200 = 6.000 pies = 1 milla náutica.

A 1 milla náutica 1 punto (dot) = 60*200 = 12.000 pies = 2 millas náuticas.



Figura 9.14. *Navegación con VOR y DME.*

Lo que concuerda con la regla 1/60, que establece que a una distancia de 60 millas náuticas, 1 milla náutica fuera de rumbo = 1° error de rumbo.

El VOR permite navegar con un alto grado de exactitud. Para interceptar y seguir un radial hacia la estación, el procedimiento general es el siguiente:

1. Una vez sintonizado e identificado el VOR (código Morse de la estación), seleccionar el radial deseado con el botón OBS.
2. Virar el avión al mismo rumbo que el radial seleccionado (número en la parte superior de la escala del instrumento).

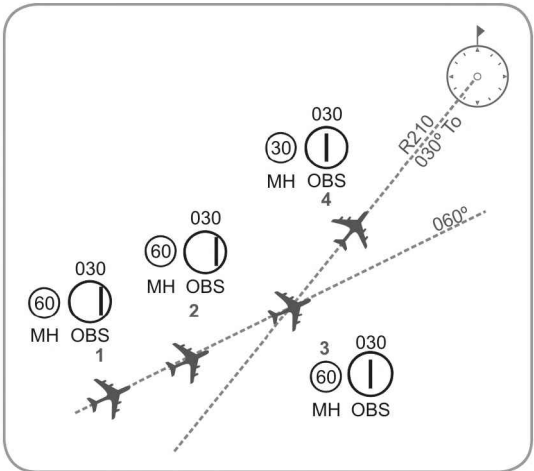


Figura 9.15. *Navegación con el VOR.*

- 3. Observar la desviación de la aguja vertical CDI. Si se desvía a la derecha, virar a la derecha para interceptar el radial. Si es a la izquierda, virar a la izquierda.

Volar con un rumbo que forme unos 35° a 45° de ángulo de intercepción con el radial seleccionado. Si este ángulo es mayor de 90° seleccionar radiales más próximos a la posición del avión, utilizando la siguiente tabla:

Tabla 9.1. *Ángulo de intercepción del radial.*

Diferencia angular con el radial	Ángulo de intercepción
Mayor de 70°	180°/90°/45°
Entre 20° y 70°	90°/45°
Hasta 20°	45°
A menos de un minuto para el descenso	Máximo 30°

- 4. Cuando la aguja se centra, virar a un rumbo que concuerde con el valor del radial deseado. Seguir en este radial, y si el viento desvía el avión a la derecha o a la izquierda, el CDI se moverá a la derecha o a la izquierda, revelando que es necesario aplicar una corrección al rumbo para capturar nuevamente la aguja en el centro.
- 5. Al llegar a las proximidades de la estación, la aguja se volverá muy sensible, de modo que es mejor mantener el rumbo hasta alcanzar la estación VOR. Al pasar por encima, la bandera TO cambia a OFF (cono de silencio de la estación) y después a FROM. El cono de silencio depende de la distancia vertical respecto al VOR.

Para volar desde (FROM) una estación VOR, se gira el selector OBS hasta que aparece la indicación FROM. Se vira al rumbo seleccionado y se mantiene centrada la aguja CDI. Si se desplaza a la izquierda (o a la derecha) se vira unos pocos grados a la izquierda (o a la derecha) hasta que se vuelve a centrar.

La posición del avión se determina sintonizando dos estaciones con la banderita FROM y se lee en la parte superior el radial donde se encuentra el avión. Se sintoniza inmediatamente después otra y el cruce de radiales obtenidos indica la posición del avión. Si la aeronave dispone de dos receptores VOR, la posición es inmediata al sintonizar las dos estaciones simultáneamente.

De forma parecida al procedimiento NDB, la regla 1/60 permite determinar la distancia a la estación:

Minutos a la estación=

Tiempo en segundos entre cambios de posición a un radial de 90° con OBS

Grados de variación del rumbo

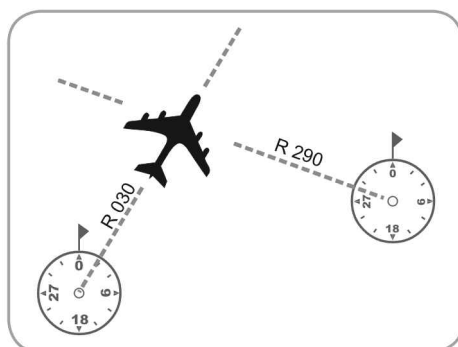


Figura 9.16. Posición del avión sintonizando dos estaciones VOR.

Por ejemplo, si el cambio de rumbo es de 10° empleando un tiempo de 5 minutos, los minutos que se emplearán en llegar a la estación son: $(5 \cdot 60)/10 = 30$ minutos.

Y la distancia a la estación a la velocidad TAS = 120 nudos es de: $(120 \cdot 5)/10 = 60$ millas náuticas.

La ventaja del VOR es que el rumbo del avión no tiene influencia sobre el radial donde se encuentra, es decir, no es influido por el viento, con lo cual es preferible al ADF. Por contra, para una eficaz recepción de las señales, no deben existir obstáculos entre el avión y la emisora VOR, por lo que en los vuelos a baja altura puede dejar de sintonizarse la estación.

El alcance del VOR depende de la altura de vuelo del avión y esta debe ser como mínimo de 1.000 pies sobre el terreno (AGL: *Above Ground Level*) para captar las señales. El alcance es aproximadamente de:

<u>Altura de vuelo</u>	<u>Alcance de la señal</u>
1.000 – 18.000 pies	40 millas náuticas
14.500 – 60.000 pies	100 millas náuticas
18.000 – 45.000 pies	130 millas náuticas

O bien puede ser estimado aplicando la fórmula:

$$\text{Alcance (millas náuticas)} = \sqrt{\text{Altitud (pies)} \cdot 1,5}$$

El error máximo permitido en un receptor VOR es de 4° , de tal modo que a 80 millas de distancia de la estación VOR de transmisión, el avión estaría fuera del eje del radial que le marca el instrumento una distancia aproximada de $80 \cdot \text{seno } 4^\circ = 5,6$ millas.

Así pues, dos aviones situados a 80 millas que comuniquen al controlador del aeropuerto donde esté la estación VOR, que se encuentran en radiales separados 6° , es posible que estén volando en el mismo lugar e incluso que estén cruzados de posición.

La navegación de área (RNAV) crea «estaciones fantasma» apoyadas en estaciones del VOR, y definidas por el radial (RHO) y la distancia DME (THETA) a cada estación VOR, lo que permite navegar por rutas con poca densidad de estaciones VOR, haciendo un mejor uso del espacio aéreo, ahorrando tiempo y combustible.

La RNAV se define como un método de navegación que permite la operación de aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada, ya sea dentro de la cobertura de las ayudas a la navegación (VOR/DME, DME/DME, LORAN C, GPS/GNSS), dentro de los límites de las prestaciones de sistemas autónomos (INS/IRS), o de una combinación de ambas posibilidades (Doc. OACI 9613-AN/937: *Manual on Required Navigation Performance (RNP)*).

Para la determinación de la posición de la aeronave por los equipos RNAV de a bordo, los datos de entrada pueden ser obtenidos de los siguientes sistemas de navegación: DME/DME, VOR/DME, INS, LORAN C (con limitaciones de uso) y GPS (con limitaciones de uso).

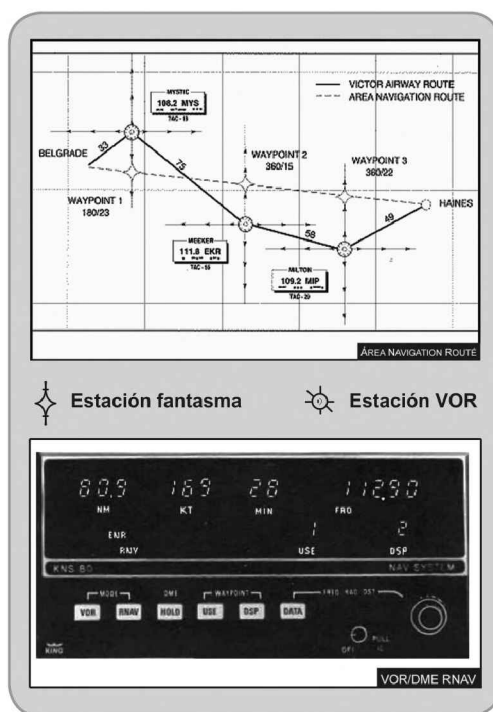


Figura 9.17. Navegación RNAV.

Los sistemas RNAV se clasifican en cuanto a su potencialidad en RNAV 2D (navegación de área en el plano horizontal), RNAV 3D (al anterior se le ha agregado la capacidad de guía en el plano vertical) y RNAV 4D (al anterior se le ha agregado la función tiempo).

El instrumento DME (*Distance Measuring Equipment*) complementa el VOR y calcula la distancia desde el avión hasta la estación VOR mediante una señal de interrogación que parte de un transceptor que incorpora un microprocesador y que mide el intervalo de tiempo transcurrido entre su transmisión y la respuesta de la estación terrestre. Este tiempo se visualiza en el DME, en forma de distancia en millas náuticas, hasta la estación.

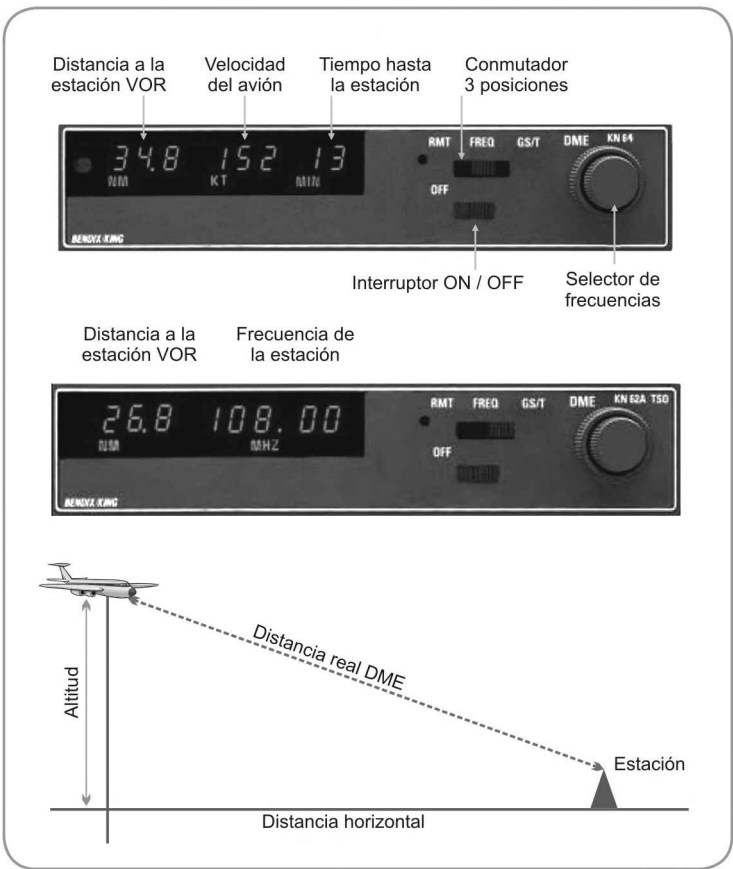


Figura 9.18. Equipo DME.

El instrumento también proporciona el valor de la velocidad del avión y el tiempo hasta la estación, siempre que la aeronave esté volando directamente hacia o desde la estación. En estos dos casos es muy útil al piloto y al controlador porque los dos tienen así una idea exacta de la posición real del avión y así el controlador puede separar en tiempo la llegada o el alejamiento de la pista de varios aviones en vuelo. Por ejemplo, si el controlador pregunta por la posición del avión, el piloto responde: Radial 90° y 15 millas. Además, en el vuelo en zonas montañosas asegura al piloto el descenso hasta la altura de seguridad.

La exactitud del DME es de unos 185 metros (± 1 milla náutica) lo que permite la separación segura entre tráficos. A señalar que el DME indica la distancia del avión a la estación, por lo que como mínimo marcará la altura de sobrevuelo cuando el avión esté en la vertical de la estación.

El DME también permite al piloto volar en arco alrededor de la estación como maniobra típica de llegar a un punto de notificación y virar en arco para alcanzar la aproximación final al aeropuerto.

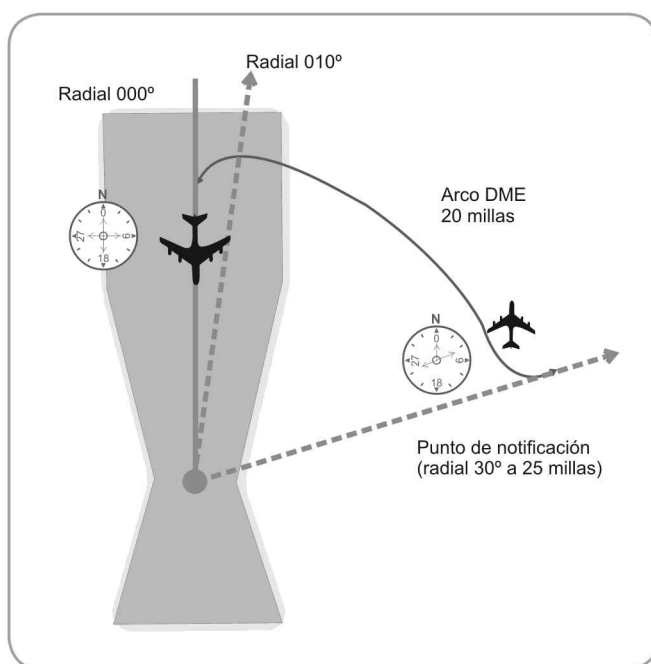


Figura 9.19. *Vuelo en arco con el DME.*

La trayectoria descrita es: A 25 millas inicia un giro de 90° a la derecha y se mantiene en un arco de 20 millas a altitud de seguridad hasta alcanzar el radial de 010. Inicia un giro a la izquierda unos 90° hasta interceptar el radial deseado de 000°.

El GPS es la gran revolución de la navegación. Los sistemas GPS actuales son el GPS (Estados Unidos) y el GLONASS (Federación de Rusia) que pertenecen a la aviación militar y no cumplen suficientemente las necesidades de aviación civil, ya que en situaciones de crisis pueden anular o degradar la señal. La Unión Europea contará con su propio sistema de navegación por satélite GALILEO (30 satélites repartidos en tres planos orbitales de 23.600 km de altura y 55° de inclinación) que permitirá precisiones de unos pocos metros y proporcionará garantías legales de operación. El sistema complementará e interoperará con GPS y GLONASS garantizando en conjunto la seguridad del tráfico aéreo.

Hay básicamente dos modelos de GPS, los portátiles y los instalados fijos en el panel del avión. Sus prestaciones aumentan de día en día. Disponen de las coordenadas de los aeropuertos, VOR, NDB, intersecciones, FSS, aproximación, aviso de colisión con el terreno, operaciones oceánicas, etc.



Figura 9.20. Receptor fijo en el panel del avión. Fuente: Garmin.

El GPS que se conecte a 12 satélites puede dar la posición del avión con unos 15 metros de error, si bien algunos factores atmosféricos y otras fuentes de error pueden afectar la exactitud de los receptores.

El GPS incorpora funciones de navegación realmente sofisticadas:

- Elaboración de rutas por puntos (*waypoints*).
- Visualización de las desviaciones del rumbo correcto y registro de los puntos de paso.
- Velocidad verdadera con relación al suelo (GS).
- Tiempo transcurrido desde el inicio del vuelo y tiempo que falta para llegar al próximo punto (*waypoint*) a destino.
- Registro del punto que se sobrevuela (pulsando una tecla) en la memoria del GPS.
- Coordenadas que el usuario puede introducir en memoria.
- Información detallada de miles de aeropuertos (base de datos de AOPA) que se actualizan cada mes.
- Alerta e identificación de espacios aéreos.
- Bases de datos del terreno y de obstáculos.

El GPS trabaja con los *map datum* que son modelos matemáticos de la Tierra representados físicamente por un conjunto de monumentos (pilotes) en tierra fijos y en una posición calculada con precisión. La posición del avión se representa en coordenadas de longitud y latitud pero también pueden utilizarse las UTM/UPS (*Universal Transverse Mercator/Universal Polar Stereographic*).

El GPS puede programarse antes del vuelo fijando los puntos (*waypoints*) de la ruta, e indica la velocidad real sobre el terreno, la posición del avión y la hora estimada de llegada al punto del tramo (*waypoint*) (ETA: *Estimated Time of Arrival*).

Al activar el GPS, el aparato empieza a captar satélites del almanaque de satélites visibles y la pantalla los muestra en una gráfica conjuntamente con la intensidad de la señal. La exactitud del aparato dependerá del número de satélites captados, siendo el número mínimo de 3, y para tener la altura son necesarios 4.

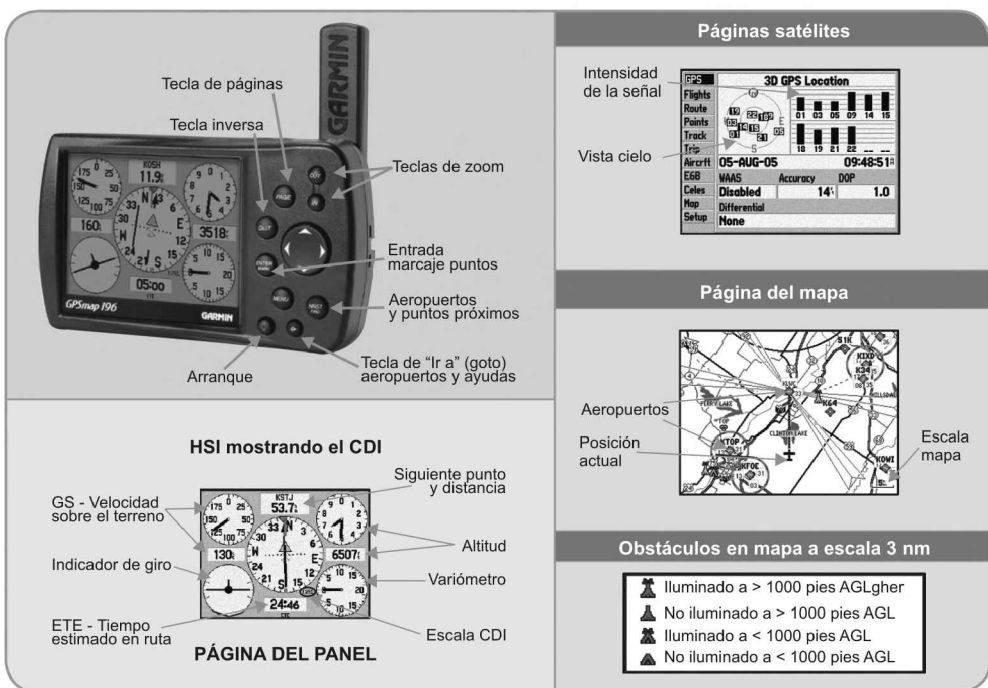


Figura 9.21. Navegación con GPS. Fuente: Garmin.

El piloto puede comunicar su posición real a la torre de control, típicamente unos cinco minutos antes de alcanzar cualquiera de los puntos de notificación de entrada al aeropuerto correspondiente, lo que aumenta la seguridad del vuelo. Se complementa con un mapa móvil (*moving map*) que presenta en una pantalla la posición del avión con relación a ayudas o accidentes del terreno y con los obstáculos marcados cuando la escala del mapa es de 3 millas náuticas.



Figura 9.22. GPS en avioneta. Fuente: Garmin y Cirrus.

Los aviones dotados de cabina de vidrio (*glass cockpit*) disponen de GPS, tal como el Garmin G1000 y G900X, y se incorporan a la aviación general, por ejemplo, en las avionetas Piper, Cessna, en los aviones Diamond, Cirrus, en aviones en kit, tales como Lancair y Van, y en los ultraligeros.

Fisiología aeronáutica y factores humanos

10

La tripulación de aviones es un grupo seleccionado de personas que debe estar en buena forma mental y física. Es difícil definir las condiciones bajo las cuales un piloto no se encuentra en un estado adecuado para pilotar un avión, a no ser que se encuentre realmente enfermo. Normalmente el piloto experimenta por sí mismo un estado interno de salud que le tienta a volar. Podríamos afirmar que cuando falta esta tentación, es mejor dejar el vuelo para otra ocasión, aunque el piloto no note ningún síntoma de enfermedad.

10.1. FORMA FÍSICA

10.1.1. Forma física deficiente

Conduce a una disminución en la tolerancia a la fatiga y es un factor de riesgo importante de la enfermedad coronaria conjuntamente con el hábito de fumar y la obesidad.

Para mantener una forma física adecuada, es suficiente realizar ejercicio de forma regular y con frecuencia. Por ejemplo, el caminar media hora tres veces por semana, practicar deportes como el jogging, la natación, el ciclismo, el tenis, etc., que desarrollan el corazón y los pulmones.

10.1.2. Régimen alimenticio

Aunque variable según los individuos, pueden darse las siguientes reglas generales:

- 1) Dieta equilibrada con poco azúcar y grasas.
- 2) Evitar alimentos fritos, mejor hervidos o a la parrilla.
- 3) El pescado y las aves son preferibles a las comidas copiosas de carnes rojas con grasa.
- 4) Consumir poca leche y huevos por tener altos niveles de colesterol.

- 5) Consumir ensaladas y fruta.
- 6) Es mejor comer poco y con frecuencia que realizar pocas comidas pero muy abundantes.
- 7) Evitar añadir demasiada sal a los alimentos, ya que aumenta la presión sanguínea.

10.1.3. Dolencias leves comunes

- **Resfriados.** El catarro o resfriado común es provocado por enfriamiento brusco o por virus que afectan el tracto respiratorio, y es tan común que no se le da importancia. Pero en un piloto puede ocasionar tos, estornudos y secreciones de moco, y lo que es más grave, la falta de permeabilidad de la trompa de Eustaquio. Esto provoca la incomunicación entre el paladar y el exterior, es decir, según sea la gravedad del resfriado o las características individuales del piloto, no hay forma de equilibrar las diferencias de presión a ambos lados del tímpano (conducto auditivo externo y oído medio).

Las maniobras de *deglución* o la de *Valsalva* (con la boca cerrada y la nariz tapada con los dedos se sopla contra el paladar percibiéndose un clic característico en ambos oídos, de apertura de las trompas de Eustaquio) pueden permeabilizar momentáneamente la trompa de Eustaquio permitiendo la compensación de presiones a ambos lados del tímpano, pero, como consecuencia, puede producirse el paso de mucosidades al oído medio con el consiguiente riesgo de una otitis.

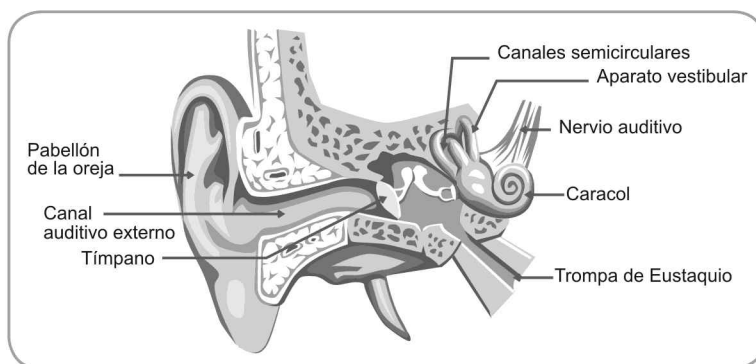


Figura 10.1. Oído.

El problema es más importante en el descenso, fase del vuelo en la que aumenta la presión, que en el ascenso, donde la presión disminuye. En el ascenso, las características físicas de la trompa de Eustaquio permiten una apertura más fácil gracias al vacío creado en la cámara del oído medio por la dilatación del tímpano hacia el exterior. El fenómeno es parecido al del buceador, quien al

terminar la inmersión y ascender compensa automáticamente sin problemas, y en cambio al iniciar la inmersión y bajar debe compensar, normalmente con la maniobra de Valsalva. Problemas dentarios, tales como la caries, o un empaste mal colocado, se ponen en evidencia (dolor) tanto en el ascenso del buceador como en el ascenso del piloto, al quedar el aire atrapado dentro de la cavidad dentaria y no poder salir inmediatamente al exterior.

Un bloqueo total de la trompa de Eustaquio en el descenso da lugar a una expansión del tímpano hacia el interior del oído medio produciendo un dolor agudo e incluso una posible rotura del tímpano (otitis barotraumática). Ante esta situación el piloto debe ganar de nuevo altura e intentar compensar de nuevo, y no debe bajar hasta conseguirlo. Es más, la compensación debe hacerla en los descensos sin esperar a notar dolor en el tímpano.

No existe un fármaco adecuado para el tratamiento del resfriado. El uso de mezclas de analgésicos o de analgésicos con antihistamínicos y cafeína no ofrece ventajas demostrables.

- **Gripe.** Enfermedad producida por virus que inflama las vías respiratorias y que viene acompañada por fiebre y manifestaciones catarrales típicas. Tiene análogas consideraciones que para el resfriado común. Puede prevenirse administrando la vacuna recomendada cada año por la OMS. Sin embargo esta vacuna se aplica prácticamente como prevención a personas con enfermedades circulatorias o pulmonares y a personal sanitario. Los medicamentos antigripales son sintomáticos, es decir, alivian los síntomas de la enfermedad pero no la curan.
- **Problemas gastrointestinales.** La ingestión de comida rica en alimentos fermentados o la toma de bebidas gaseosas pueden provocar la formación de gases en el estómago e intestinos. Al ascender y disminuir la presión, estos gases van a dilatarse (ley de Boyle-Mariotte) provocando malestar (sensación de estar inflado) e incluso incapacitando al piloto para volar, en los casos de intervenciones quirúrgicas recientes o de padecimiento de úlcera gástrica.

Por otro lado, pueden producirse infecciones e intoxicaciones alimentarias, si las comidas se realizan fuera de casa y no están en buenas condiciones higiénicas.

10.1.4. Medicamentos

Los medicamentos pueden influir negativamente en el comportamiento físico y psíquico de los pilotos durante el vuelo. En este sentido, la automedicación debe prohibirse expresamente por su alta peligrosidad, y la toma de medicamentos con receta debe ser consultada con algún médico aeronáutico, ya que por sus especiales características, otros médicos desconocen el grado de peligrosidad que presenta la toma de medicamentos en las condiciones del vuelo.

- **Antibióticos.** Los antibióticos se utilizan con demasiada frecuencia para el tratamiento de patologías víricas (infecciones de las vías respiratorias, gastroenteritis, etc.) e incluso para un simple caso de fiebre. El abuso de su toma es la causa principal de la aparición de cepas resistentes. Si bien no afectan directamente las facultades del piloto, poseen algunos efectos indeseables:

Penicilinas	Reacciones alérgicas (cutáneas) y diarrea.
Sulfamidas	Reacciones alérgicas, epigastralgia, náuseas, diarrea y vómitos.
Tetraciclinas	Diarrea.

Más que estos efectos indeseables, lo que incapacita al piloto para volar son realmente las condiciones físicas en las que se encuentra, que le inducen a la toma de antibióticos.

- **Antihistamínicos.** Usados para el tratamiento de la alergia y como tratamiento del mareo por movimiento. La mayoría son depresores del sistema nervioso central y producen amodorramiento y somnolencia. Tomados con alcohol se potencian sus efectos.
- **Tranquilizantes o ansiolíticos.** Enlentecen la actividad del sistema nervioso, produciendo somnolencia, náuseas, sensación de angustia, etc., e intensifican los efectos del alcohol, siendo incompatibles con el vuelo por producir un estado de euforia y optimismo que puede llevar al piloto a ignorar todos los procedimientos de seguridad en el vuelo.
- **Estimulantes.** Combaten la sensación de hambre y fatiga pero como efectos secundarios producen insomnio, embotamiento y depresión posterior. Conviene pues tener cuidado con su consumo. Las anfetaminas son los de uso más común.
- **Medicación antidiabética oral.** Se usa para tratar la diabetes tipo 2 del adulto cuando el seguimiento de un plan de alimentación y la práctica del ejercicio físico no consiguen reducir los niveles de glucosa.

En la diabetes tipo 2 existe una insulinoresistencia por parte del organismo, de modo que los fármacos que se toman son del grupo de insulinosensibilizadores:

- Biguanidas: metformina (Dianben). Inhibe la producción hepática de insulina y mejora la sensibilidad a la insulina.
- Inhibidores de las alfa glicosidasas: acarbosa (Glumida, Glucobay) y miglicol (Diastabol y Pluramol). Retardan la absorción de los carbohidratos y así amortiguan la elevación de glucosa después de las comidas.

Estos medicamentos se aceptan en casos de Clase 1 con limitación para operación multipiloto (OML Clase 1) o de certificación sin restricciones para Clase 2.

La toma de estimulantes de la secreción de insulina (secretagogos) y/o la toma directa de insulina, no es aceptada en aviación por el posible efecto secundario de aparición de hipoglucemias (contenido bajo de glucosa en sangre) que pueden incapacitar al piloto, ya que es difícil controlar el nivel en sangre de la medicación. Como síntomas de la hipoglucemia figuran irascibilidad, incapacidad para tomar decisiones, laxitud, somnolencia, mareo, dolor de cabeza e incluso convulsiones y pérdida de conciencia, pudiendo llegar al coma en casos extremos.

- **Drogodependencia.** La drogodependencia es un estado psíquico y a veces también físico caracterizado por modificaciones del comportamiento, que incluyen el impulso de tomar la droga de forma continua o periódica, bien para experimentar sus efectos psíquicos o para evitar el malestar producido por la abstinencia.

10.1.5. Estrés

El estrés en sí mismo es beneficioso. Ante una situación de peligro el cuerpo sufre transformaciones (segregación de adrenalina para acelerar el ritmo cardíaco y aumentar la presión sanguínea) para prepararse para la lucha.

El problema es que en nuestra civilización, esta lucha contra el contrario no siempre es conveniente (la lucha contra el propio jefe en la gran mayoría de los casos no es posible porque implica automáticamente el despido de la empresa) o bien, en ocasiones, el individuo lucha para conseguir resultados cuya consecución no depende de él (obligación de lograr unas ventas en una empresa comercial en una situación de crisis de mercado sobre las que el individuo no puede hacer nada).

Así pues, si el individuo no puede terminar el proceso de lucha descrito o desviarlo o compensarlo de alguna forma (vacaciones, yoga como relajación, dejar la empresa, etc.), y la situación se prolonga, llega un momento en el que al ser el estrés intolerable, queda afectada la salud mental y el rendimiento en el trabajo. El individuo empieza a mostrar comportamientos anormales: fuma y bebe excesivamente, se muestra siempre muy nervioso y puede llegar a tomar drogas de forma habitual. Por otro lado, inconscientemente hace recaer el estrés en algún órgano de su cuerpo, provocándose una enfermedad orgánica (psicosomática).

10.1.6. Alcohol

El alcoholismo es una enfermedad en la que la ingestión de bebidas alcohólicas puede llegar a dañar la salud física y el comportamiento social del individuo. La ingestión diaria de más de 40 cc de alcohol puro en los hombres y de más de 30 cc en las mujeres, presenta un riesgo para el hígado (hepatopatía). La toma diaria de 160 gr de alcohol puro durante 15 años comporta grandes probabilidades de padecer una cirrosis hepática. El alcoholismo crónico conduce evidentemente a la pérdida

de la licencia de piloto. Pero el peligro para el piloto es la costumbre que existe en nuestra sociedad de tomar alcohol en todo tipo de reuniones, lo que puede conducirle subrepticamente al alcoholismo crónico.

Un ataque de alcoholismo agudo (embriaguez) se puede producir según la cantidad de alcohol ingerida. El hígado tarda en metabolizar completamente el alcohol, necesitando unas tres horas para eliminar 30 mg (375 cc: vino de 10°).

El alcohol en el vuelo a gran altura (10.000 pies y más) potencia la hipoxia, retrasa la conducción nerviosa (reflejos), altera la coordinación de movimientos y acentúa la fatiga, conduciendo a errores visuales y auditivos.

La bebida de alcohol está prohibida al piloto, al menos 24 horas antes del vuelo.

Signos del alcoholismo crónico:

- Beber a escondidas.
- Beber antes de las reuniones.
- Embriagarse con regularidad.
- Necesitar cada vez mayor cantidad de alcohol para embriagarse y aguantar el alcohol.
- No poder pasar sin beber aunque se lo proponga.

Tabla 10.1. *Contenido de alcohol en las bebidas.*

CONTENIDO DE ALCOHOL EN LAS BEBIDAS	
Bebida	Graduación
Cerveza	2° - 6°
Vinos	8° - 12°
Cava, champaña	12°
Vermut	17° - 18°
Moscatel, oporto, jerez	20°
Anís	30°
Aperitivos	18° - 20°
Coñac, ginebra, vodka, ron, whisky	45° - 50°

$$\text{Gramos alcohol puro} = \frac{\text{ml} \cdot \text{graduación} \cdot 0,8}{100}$$

10.1.7. Tabaco

El tabaco contiene mas de 200 sustancias, de las cuales la más importante es la nicotina. En la combustión se forman otras sustancias tales como monóxido de carbono, benzopireno, fenoles y ácidos grasos.

La nicotina afecta el corazón y los pulmones del fumador.

En el corazón provoca, a dosis suficientes, una vasoconstricción, con taquicardia y aumento de la presión arterial, favoreciendo la aterosclerosis (depósito de grasa y colesterol) de las arterias coronarias. Si una de las arterias coronarias llega a estrecharse lo suficiente, puede ser obturada parcial o totalmente por un trombo, con lo que la zona del miocardio (músculo de la bomba cardiaca) alimentado por la arteria se queda o con poca sangre o sin sangre, y provoca, en primer lugar, un aviso de angina de pecho y más adelante un infarto de miocardio o bien directamente este último. El ataque sufrido es puesto en evidencia por los cambios eléctricos observados en el electrocardiograma (ECG).

Factores de riesgo de la enfermedad coronaria:

- Hipertensión.
- Fumar.
- Falta de ejercicio.
- Diabetes.
- Obesidad.
- Hiperlipidemia (alto nivel de colesterol y lípidos en sangre).
- Estrés.

Una prueba de esfuerzo puede hacer aparecer los síntomas de angina de pecho en el candidato a infarto, puesto que la prueba evidencia la inadecuada alimentación de sangre al corazón. Existe una gran variedad de síntomas, desde una muerte súbita en un individuo aparentemente sano hasta una sucesión de anginas de pecho e infartos en individuos que viven muchos años, pero que muestran los signos de la enfermedad.

10.2. HIPOXIA

El vuelo a alturas superiores a 4.000 metros puede alterar el proceso normal de transferencia del oxígeno desde el aire inspirado a la corriente sanguínea. Al disminuir la presión atmosférica, la concentración de oxígeno en sangre disminuye, produciéndose una deficiencia de oxígeno en el organismo, con lo que la capacidad de juicio del piloto puede verse afectada.

En reposo, el hombre consume unos 5 litros/minuto de aire a presión atmosférica y 15 °C, y en ejercicio normal (paseo rápido) unos 15-20 litros/minuto, llegando en ejercicios violentos hasta unos 60 litros/minuto. En el aire húmedo, la concentración de oxígeno es del 21% y la de N₂ del 78%, mientras que en el aire seco pasan a ser de 14,5% y 80% respectivamente. Luego, siendo la presión atmosférica estándar de 760 mm Hg y la presión parcial del vapor de agua de 47 mm Hg, la presión alveolar del aire seco a nivel del mar es de $760 - 47 = 713$ mm Hg.

El hombre aspira aire por la boca o por la nariz (en esta es calentado y filtrado) y, a través de la tráquea, lo dirige a los pulmones donde alcanza los alvéolos en los que

tiene lugar el proceso de transferencia del oxígeno a la sangre. La sangre venosa, utilizada por el organismo, es bombeada por el corazón derecho hacia los pulmones, donde circula por una red de capilares dentro de cada alvéolo. En estos, la presión alveolar del oxígeno es de $14,5\% \times 713 = 103 \text{ mm Hg}$.

En reposo, cada respiración mueve 0,5 litros de aire de la capacidad total pulmonar, que es de unos 5 litros de promedio. En cada respiración se transfiere O_2 y se elimina CO_2 (presión parcial 40 mm Hg). El oxígeno se difunde desde los alvéolos (árbol pulmonar), donde está a una presión parcial de 103 mm Hg, a la red de capilares pulmonares donde tiene una presión parcial de 40 mm Hg. Así pues este gradiente de 63 mm Hg obliga al oxígeno alveolar a difundirse hacia la sangre del capilar. Una proteína (hemoglobina), contenida en los glóbulos rojos (eritrocitos) de la sangre, se combina con el oxígeno difundido y forma la oxihemoglobina que se satura de oxígeno entre un 90-100%.

De este modo, la sangre ya oxigenada llega a la aurícula y ventrículo izquierdo desde donde es bombeada al organismo, a través de una red de arterias, arteriolas y capilares. El oxígeno contenido en la hemoglobina de los eritrocitos a una presión parcial de 100 mm Hg pasa a los tejidos, donde el O_2 está a una menor presión parcial de 20-40 mm Hg.

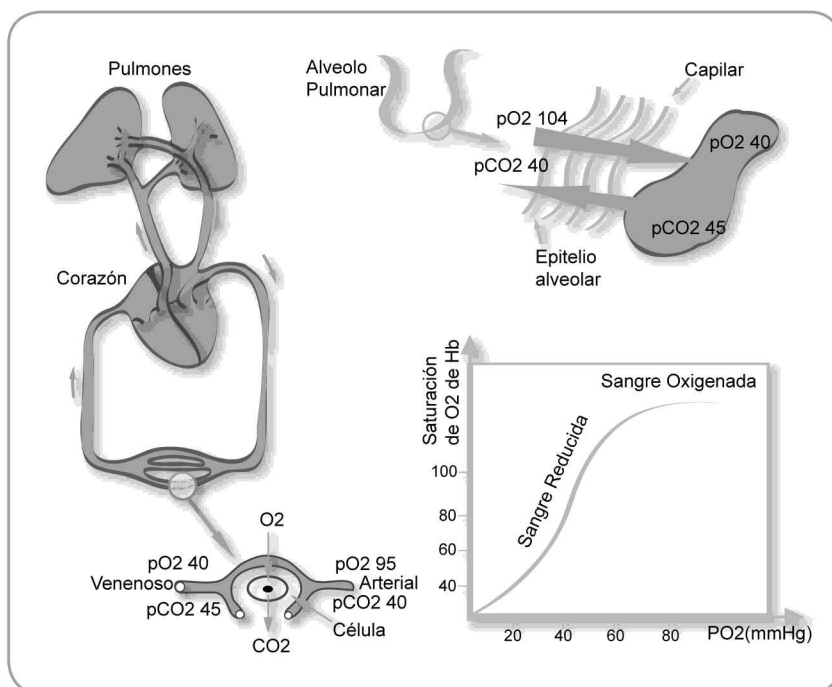


Figura 10.2. Ciclo de transferencia de O_2 y eliminación de CO_2 , y curva de disociación de la hemoglobina.

Por otro lado, la sangre venosa (sangre arterial que ha pasado por los tejidos alimentándolos) contiene CO_2 a una presión parcial de 45 mm Hg, mientras que en los alvéolos es de 40 mm Hg. Este gradiente de 5 mm Hg., combinado con un coeficiente de difusión 20 veces mayor que el del O_2 , favorece la eliminación del exceso de CO_2 de la sangre.

La *hipoxia* se define como una disminución de la concentración de oxígeno en sangre (hipoxemia) que da lugar a una disminución de oxígeno en los tejidos (hipoxia), lo que puede conducir a la incapacitación del piloto e incluso provocarle la pérdida de conocimiento y la muerte. Esta disminución de la concentración de oxígeno en sangre depende de la altitud de vuelo y del tiempo de exposición.

Para el piloto de avioneta, el problema empieza a partir de los 10.000 pies. Si el vuelo es prolongado, es necesario que el piloto use un respirador de oxígeno.

EFECTOS DE LA HIPOXIA	
A 14.000 pies (4.267 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Fatiga y somnolencia. • Dolor de cabeza. • Disminución de la visión en un 20%. • Errores de apreciación. • Ilusiones visuales. • Sensación de bienestar. • Exposición máxima de 2 horas en el 99% de los individuos.
A 16.000 pies (4.877 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Desorientación y/o agresividad y/o euforia. • Alteración de la percepción auditiva. • Efectos parecidos a una intoxicación etílica grave. • Exposición máxima de 30 a 45 minutos.
A 18.000 pies (5.486 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleración del ritmo cardíaco y respiratorio. • Color violáceo de la piel y de la cara. • El tiempo de conciencia útil (antes de la pérdida de conciencia) para tomar una decisión es de 20 a 30 minutos.
A 20.000 pies (6.096 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Desvanecimiento y convulsiones. • Exposición máxima de 5 a 12 minutos.
A 25.000 pies (7.620 m)	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de conciencia útil es de 2 a 3 minutos.
A 37.000 pies (11.280 m)	<ul style="list-style-type: none"> • El tiempo de conciencia útil es de 18 a 30 segundos.

El consumo de alcohol, de tabaco y ciertos medicamentos provoca una disminución en la capacidad de absorción de oxígeno del organismo, con lo cual, los efectos de la hipoxia se presentan en el individuo a una menor altitud, y es posible que el piloto tenga trastornos a una altitud inferior a 10.000 pies. El alcohol potencia la acción de ciertos medicamentos (tranquilizantes y relajantes musculares, antihistamínicos).

Los anestésicos locales que se toman en las intervenciones dentales o de otro tipo pueden producir ansiedad, embotamiento y excitación o depresión. El piloto debe dejar pasar 48 horas antes de volar.

Las *cámaras de baja presión* permiten a los pilotos familiarizarse con los efectos de la hipoxia y, en el vuelo real, reconocer los síntomas antes de que sea demasiado tarde.

Variando la presión de aire de la cámara se simula el vuelo en ascenso o descenso, el bloqueo de los senos, la descompresión, la hipoxia (de interés en los fumadores y en los que han tomado alcohol o narcóticos), la entrada de gases de escape del motor en la cabina (aumenta la concentración de CO_2), etc.



Figura 10.3. *Cámara de baja presión.*

Las pruebas se realizan con instructores que preparan una serie de trabajos (identificar cartas de un juego de cartas, colocar bloques tallados en orificios, completar secuencias numéricas, copiar frases y realizar cálculos simples) para efectuarlos a alturas simuladas desde los 6.000 pies hasta los 25.000 pies. Los signos en los pilotos son muy variados: ligero dolor de cabeza, euforia, excesiva locuacidad, color azul gradual que se instaura en los dedos y en los labios, mala pronunciación de las palabras, visión en túnel, escritura errática, etc. Lógicamente los instructores vigilan la experiencia e intervienen en caso necesario.

El uso de oxígeno previene la hipoxia. El piloto usa una máscara de oxígeno a *demanda*, o bien el avión está presurizado a una altura equivalente a 2.000 m (6.560 pies), sistema utilizado en los aviones de pasajeros y en aviones de altas prestaciones.

10.3. HIPERVENTILACIÓN

La hiperventilación es un estado en el que están aumentados el ritmo y la profundidad de las respiraciones. La hiperventilación trae como consecuencia un enriquecimiento del nivel de O_2 y un descenso en el nivel de CO_2 en sangre.

La hipoxia conduce a la hiperventilación, ya que un recurso compensatorio que tiene el organismo para aumentar el nivel de O_2 en sangre cuando se vuela a gran altitud, es precisamente aumentar el ritmo y la profundidad de las respiraciones.

Existen otras causas que pueden conducir a la hiperventilación:

- Temperaturas elevadas, vibraciones, aceleraciones.
- Estados de ansiedad, emociones, miedo, cólera.
- Algunos fármacos como los salicilatos, estrógenos y los analépticos.
- Fiebre, hipoglucemia, acidosis metabólica, anemia, neumopatías.

Los síntomas que da la hiperventilación son alteraciones de las funciones visuales y auditivas, mareos, vértigos e incoordinación muscular y convulsiones. Son parecidos a los de la hipoxia, por lo que es necesario descartar esta, comprobando que los equipos de oxígeno funcionan correctamente.

Para tratar la hiperventilación es necesario parar el proceso de enriquecimiento de O_2 y descenso de CO_2 . Para ello se tapan con una bolsa la boca y las fosas nasales del sujeto y de este modo respira su propio aire espirado, aumentando así la tasa de CO_2 . Como medida complementaria se tranquiliza al individuo, ya que una de las causas de la hiperventilación es precisamente la ansiedad.

10.4. GASES COMPRIMIDOS

En un vuelo en ascenso, o en un accidente de descompresión en un avión presurizado, la presión ambiente exterior es menor que la existente dentro del avión, por lo que eventuales volúmenes de aire que rellenen cavidades reales o virtuales del cuerpo humano tendrán tendencia a liberarse. La ley de Boyle-Mariotte indica que el producto de presión * volumen es constante. Si hay un bloqueo, al disminuir la presión aumentará el volumen de los gases atrapados.

10.4.1. Sistema gastrointestinal

Los gases contenidos en el estómago e intestinos aumentarán de volumen, y a 5.000 m, donde la presión atmosférica se ha reducido a la mitad, ocuparán el doble de volumen. De este modo el piloto se notará inflado y tendrá molestias, incluso dolor. Para prevenirlo es aconsejable no beber bebidas gaseosas ni comer alimentos que fermenten rápidamente (judías, cebollas, etc.).

10.4.2. Senos paranasales

Son cavidades existentes en el cráneo y la cara que se comunican con la cavidad nasal mediante conductos estrechos. Causas como el catarro común (coriza aguda) o la rinitis alérgica (fiebre del heno) pueden bloquear estos conductos e interrumpir la libre circulación de aire entre estas cavidades y el aire ambiente en cabina. Esta situación conduce a un barotraumatismo de senos que puede ir acompañada de dolor

intenso en las mejillas y parte delantera de la cabeza y cara, y con afectación de la visión (lagrimeo y fenómenos inflamatorios) que pueden imposibilitar al piloto de volar.

10.4.3. Cavidades dentarias

Una caries mal empastada que permita una pequeña entrada de aire en la cavidad (mientras se está en tierra) pero que impida, debido a su forma, la salida rápida del aire, comportará en altura una mayor presión en el aire contenido en la cavidad. Este aumento de presión provocará dolor fulgurante a nivel de la pieza dentaria y la posible rotura del diente o del empaste a no ser que el piloto efectúe un descenso rápido. De aquí que sea necesario como prevención el cuidado frecuente de la dentadura.

10.4.4. Oídos

La membrana timpánica que separa el pabellón de la oreja y el conducto auditivo externo del oído medio, comunica con la nasofaringe a través de la trompa de Eustaquio. En caso de bloqueo de la trompa de Eustaquio, la membrana timpánica que es flexible, puede dilatarse en ambos sentidos, hacia el conducto auditivo externo o hacia el interior del oído medio. Más allá de un límite de dilatación, se presenta dolor intenso e incluso la posible rotura del tímpano con su secuela de mareos, vértigo y desorientación espacial que pueden incapacitar al piloto, aunque sea durante poco tiempo.

En el ascenso o en un accidente de descompresión en cabina presurizada, al bajar la presión exterior, el volumen del oído medio aumenta, dilatándose hacia el exterior la membrana timpánica. Por la estructura física de la trompa de Eustaquio, que comunica el oído medio con el paladar, la igualación de presiones, que se denomina *compensación*, es casi automática, excepto si el piloto está muy resfriado.

En un descenso rápido, como aumenta la presión exterior, el tímpano se dilata hacia el interior del oído medio. En este caso, incluso si el piloto no está resfriado, puede ser necesario tragar saliva, o bien efectuar la maniobra de Valsalva en la que se sopla contra el paladar, con la boca cerrada y la nariz oprimida con los dedos, forzándose así el paso del aire a través de las trompas de Eustaquio, y notándose como un clic característico en cada oído, que es la evidencia de la compensación.

10.4.5. Disbarismo

El *disbarismo* es la enfermedad provocada por las diferencias de presión entre el organismo humano y la presión ambiental exterior, lo que provoca la formación de burbujas gaseosas en los tejidos y fluidos del organismo, que puede impedir una irrigación correcta. En aviación puede presentarse al ascender rápidamente el avión (hasta 25.000 pies e incluso hasta 14.000 pies) o al fallar la presurización de la aeronave. Este fenómeno se presenta también en los buceadores en sus inmersiones en el

mar, si las paradas de descompresión obligadas por el tiempo y la profundidad de la inmersión (para dar tiempo a liberar el nitrógeno a través de la respiración) no son respetadas por el sujeto.

Las manifestaciones clínicas del *disbarismo* o *enfermedad descompresiva* se presentan al cabo de unos 20 minutos de producirse el cambio significativo del gradiente de presión y pueden ser articulares (bends), cutáneas, respiratorias, neurológicas, visuales, y ser acompañadas de un posible shock cardiocirculatorio cuando la afectación del organismo es muy importante.

Para tratar la enfermedad descompresiva es necesario recomprimir las burbujas de nitrógeno y después eliminarlas lentamente a través de la respiración, lo que se hace en las cámaras hiperbáricas.

Una atención especial merece el vuelo dentro de las 48 horas siguientes a una inmersión a profundidades superiores a 10 metros. En estas condiciones, el vuelo de regreso debe efectuarse a una altitud mínima compatible con la seguridad. Si aparecen los síntomas del accidente de descompresión (hormigueo, etc.) debe bajarse inmediatamente de altitud, y si persisten, habrá que buscar atención médica e incluso llevar al paciente a una cámara de descompresión lo más rápidamente posible. Evidentemente, lo más sensato es retrasar el vuelo y no realizarlo hasta que el descompresímetro del buceador indique que ya se puede realizar el vuelo de regreso.

10.4.6. Descompresión

En una descompresión brusca, pasando de la presión en cabina (0,82 atmósferas = 6.000 pies) a la presión exterior (0,23 atmósferas = 35.000 pies), el aire en los pulmones se expande 3,5 veces su volumen, lo que afecta al aparato pulmonar. Si la descompresión es rápida, con un cambio de presión más lento, hay tiempo para exhalar el aire en exceso.

Toda la tripulación debe hacer un uso inmediato de las máscaras de O₂ (máximo en un tiempo de 4 o 5 segundos) para prevenir la hipoxia. Puede presentarse disbarismo si se prolonga la bajada de presión. Por estos motivos debe iniciarse inmediatamente un descenso de emergencia para alcanzar los 10.000-15.000 pies, que es la altitud en la que puede respirarse normalmente el aire exterior.

10.5. SISTEMA NORMAL DE ORIENTACIÓN

10.5.1. Vista

El ojo humano recibe la luz procedente de los objetos a través de la córnea. La cantidad de luz recibida es regulada por el iris que funciona como el diafragma de una cámara fotográfica. El objeto se enfoca sobre la retina, mediante el cristalino, que es una lente que tiene una distancia focal variable gracias a un órgano muscular (cuerpo ciliar).

Los impulsos luminosos procedentes de la retina se transmiten por el nervio óptico hasta el cerebro donde se interpreta la imagen y se hace consciente.

La retina está formada por fotorreceptores llamados *conos* y *bastones*. Los primeros, que están concentrados en la mácula lútea (mancha amarilla o punto de mejor visión), están adaptados para la visión diurna, y son sensibles al color y a los detalles de la imagen del objeto, mientras que los segundos están distribuidos en la periferia retiniana y sirven para la visión nocturna y para la orientación visual.

Tardan unos 30-60 minutos en adaptarse a la oscuridad y una vez completado el proceso de adaptación su sensibilidad está incrementada en unas 500 veces con relación a la visión diurna. Su adaptación es anulada por cualquier tipo de luz intensa. De aquí que durante la noche conviene mirar oblicuamente un objeto luminoso en lugar de hacerlo directamente.

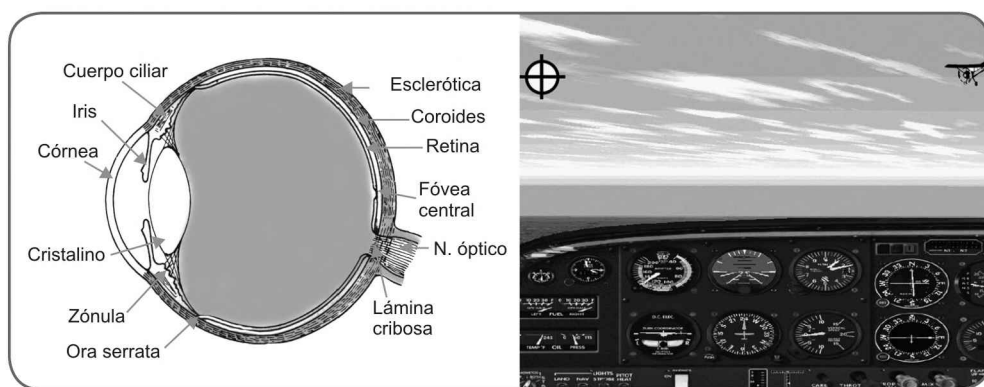


Figura 10.4. Ojo humano y punto ciego.

La retina está conectada al cerebro por medio del nervio óptico y el punto de unión se denomina punto ciego por carecer de células fotosensibles. Para comprobar su existencia sitúe la Figura 10.4 a unos 20 cm del ojo derecho, tápese el izquierdo y mirando al círculo, acerque lentamente la figura. Llegará a una distancia en la que el avión desaparecerá del campo de visión debido a que su imagen está en el punto ciego. Continuando el movimiento la imagen del avión volverá a aparecer.

10.5.2. Oído interno

Las ondas sonoras que entran por el conducto auditivo externo hacen vibrar el tímpano que está en contacto con los tres huesecillos del oído medio (martillo, yunque y estribo). El último huesecillo, que es el estribo, está conectado a la ventana oval y transmite, a su través, las vibraciones externas dentro del oído interno, presionando como un émbolo sobre el líquido del vestíbulo donde se encuentran el caracol (cóclea) y el órgano del equilibrio. De este modo, las diferentes clases de oscilacio-

nes acústicas percibidas excitan la cóclea o caracol, y, a través del nervio coclear, llegan al oído interno, convirtiéndose en impulsos nerviosos que llegan al cerebro.

Una dosis acústica de 85 db a 100 db durante 40 horas semanales provoca, a largo plazo, una pérdida de audición permanente. De aquí la importancia que tiene para el piloto usar medios de protección (cascos – 40 db) para disminuir el ruido en cabina. Se reduce además la fatiga y se mejora la percepción de las comunicaciones.

$$\text{db} = 20 \cdot \log \frac{P_x}{P_o}$$

Presión sónica en decibelios (db):

P_x = Presión sonido real en microbar

P_o = Presión de referencia 2×10^{-4} microbar a 1.000 Hz.

0 db = umbral de audición

15 db = susurro

30 db = conversación en casa

45 db = conversación en oficina ruidosa

60 db = calle con mucho tráfico

80 db = orquesta tocando un pasaje fuerte

120 db = motor de explosión de aviación

150 db = avión de reacción con postcombustión

Cabe señalar que los aviones modernos están certificados para un ruido máximo en cabina, para la potencia máxima, perfectamente soportable y sin agresión para el piloto. El ruido máximo en cabina de los aviones modernos es de 70 db con el motor a fondo.

El órgano del equilibrio del oído interno se compone de dos sistemas diferentes, el estático (utrículo y sáculo), que capta la aceleración lineal, y el sistema de los canales semicirculares, que percibe la aceleración angular o rotatoria. Ambos sistemas se encuentran rodeados de líquido.

El sistema estático capta la *aceleración lineal* gracias a una pequeña placa sensitiva de unos 2 mm de diámetro llamada *mácula* existente entre el utrículo y el sáculo. Dispone de unos cilios que pueden inclinarse dentro de una capa gelatinosa que contiene gránulos de carbonato cálcico. Esta capa, por su densidad, obedece, por una parte, a la fuerza de la gravedad, y por otra, y debido a su inercia, retrasa sus movimientos. De este modo se inclinan los cilios que producen los estímulos de las células

las sensitivas. Al ser las dos máculas perpendiculares entre sí (la mácula del utrículo es horizontal y la mácula del sáculo es vertical), informan al cerebro de la posición de la cabeza y de los movimientos progresivos en las tres dimensiones del espacio.

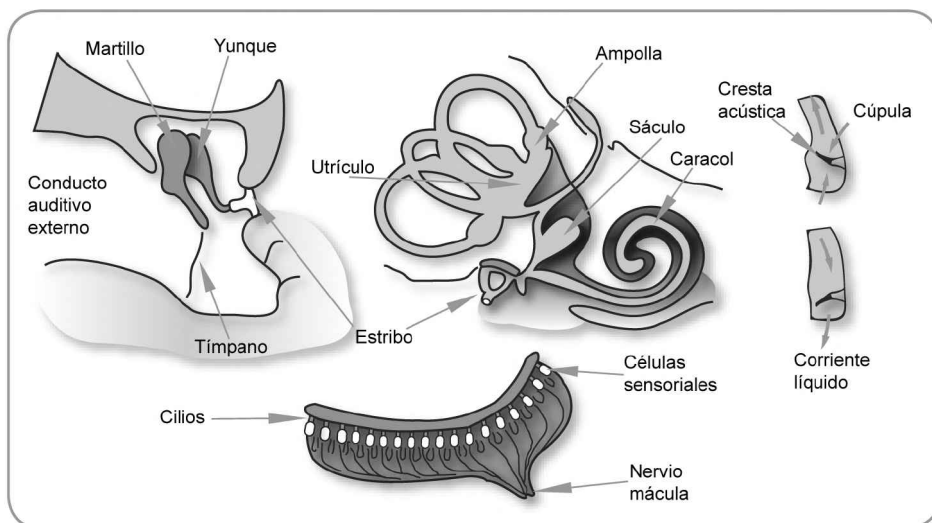


Figura 10.5. Oído interno.

El *movimiento angular* se capta en los canales semicirculares (contienen un líquido llamado endolinfa) situados en tres planos perpendiculares entre sí: horizontal (lateral), frontal (anterior) y vertical (posterior). Cada canal tiene una ampolla y en cada ampolla existe una cresta acústica sobre la cual se encuentran unas células sensitivas, cuyas pestañas vibrátiles penetran dentro de una sustancia móvil gelatinosa llamada cúpula, que también forma parte de la cresta acústica, y que cierra como una válvula la luz de la ampolla. De este modo, cualquier cambio de posición de la cabeza del piloto o del avión, moverá el líquido dentro del canal semicircular, lo que se traducirá en inclinaciones de la cúpula, y por lo tanto en el envío de señales por parte de las fibras nerviosas de las células sensitivas, a través del nervio vestibular, hacia el sistema nervioso central que así tendrá conocimiento del movimiento angular.

Cada canal semicircular se estimulará dependiendo de las maniobras de alabeo, cabeceo, derrape y resbale que se efectúen. Debido a la inercia del líquido y de la cúpula, puede haber oposición entre lo que se ve y lo que se siente. Si así ocurre, el piloto debe prescindir de las sensaciones de su organismo y hacer caso de las indicaciones de los instrumentos.

10.5.3. Orientación espacial

El hombre para orientarse espacialmente recibe tres tipos de información a través de sus sentidos:

- La vista, con la que se sitúa en el espacio y mide la trayectoria, la velocidad y la aceleración del movimiento.
- El aparato vestibular del oído interno, que revela la aceleración lineal y angular del movimiento.
- Sistema propioceptivo, a través de terminaciones nerviosas sensitivas situadas en los músculos, tendones, articulaciones y piel. Es el sistema que permite al piloto sentir el avión con las nalgas.

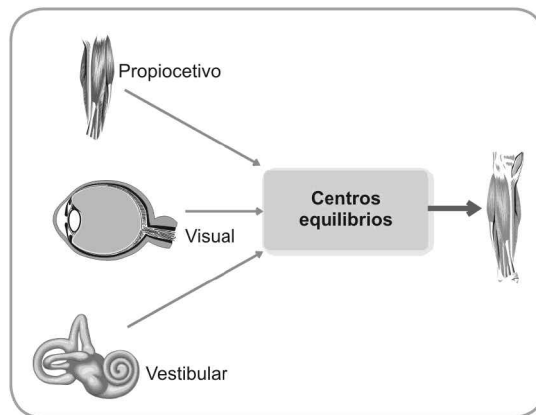


Figura 10.6. Esquema general del equilibrio.

La integración de estas informaciones proporciona al cerebro la orientación espacial correcta del cuerpo. Si esta integración es inadecuada se produce la *desorientación espacial* llamada también *vértigo*. Prácticamente todo piloto IFR o VFR volando en condiciones marginales ha sufrido en alguna ocasión desorientación espacial, aunque sea por poco tiempo.

10.5.4. Ilusiones sensoriales

- **Visual:** cuando se vuela de día, a gran altura o sobre nubes, se presenta la sensación de *campo visual vacío* al no tener ningún punto donde enfocar la mirada. El ojo del piloto se vuelve perezoso y confunde cualquier mota de polvo en el parabrisas con un avión. Para eliminar esta ilusión basta mirar la punta del ala para que el ojo vuelva a enfocar normalmente. Por otro lado, si el piloto ve un avión será incapaz de apreciar la distancia y la velocidad a la que vuela, al no tener ningún otro punto de referencia.

Las modificaciones que se realizan en los entornos de los aeropuertos o la inclinación de las pistas pueden crear en el piloto la *sensación de ir demasiado alto o demasiado bajo*, y en la maniobra del aterrizaje, inducirle a modificar la senda correcta de planeo.

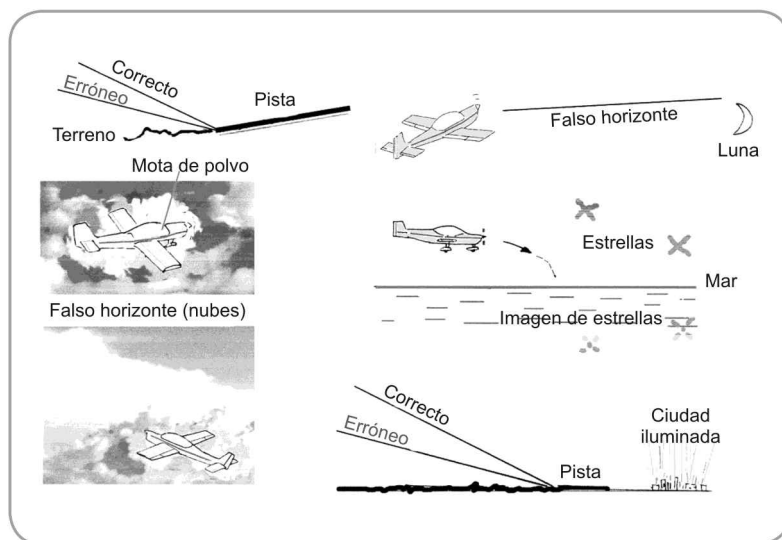


Figura 10.7. Ilusiones visuales.

En un ascenso a gran altura por la noche con el morro elevado, la visión de la luna puede quedar por debajo del falso horizonte creado por el plano horizontal del avión, lo que puede dar lugar, en ausencia de otros estímulos, a la sensación de vuelo invertido. Se llama *ilusión de inversión*.

Al volar entre nubes se crea la falsa *ilusión de que el horizonte es el plano de la capa de nubes*, lo que puede inducir al piloto a creer que sus instrumentos no funcionan correctamente.

Volando sobre un mar sin oleaje, el piloto ve las estrellas reflejadas sobre el agua, pierde el horizonte y adquiere la *falsa sensación de que está ascendiendo*, con lo que erróneamente baja el morro. Idéntica confusión se presenta al intentar alinear equivocadamente las luces de una autopista con el horizonte real.

Reflejos del sol sobre la hélice o la visión de luces intermitentes de frecuencia entre 4 a 20 ciclos/segundo, provocan la aparición de náuseas y vómitos.

En los aterrizajes nocturnos volando sobre superficies sin referencia y con una ciudad iluminada a lo lejos y la pista situada antes de la ciudad, se genera la *ilusión de agujero negro*. El piloto vuela más alto de lo que marca la senda de planeo, y después tiende a perder altura, con el peligro de descender demasiado y estrellar la aeronave antes de alcanzar la pista de aterrizaje.

- *Autocinesia*: una fuente de luz puntual (estrella) vista con atención y sobre un fondo oscuro uniforme, aparecerá oscilando aunque no se mueva. En un vuelo nocturno en formación, le puede suceder al piloto que fije la mirada en una

luz de posición del avión próximo. Es la llamada *ilusión autocinética* y para eliminarla basta con dejar de prestar atención a la fuente de luz y desviar la mirada.

- *Leans*: esta *sensación de inclinación* se produce cuando el piloto efectúa una maniobra de alabeo tan lentamente y con tan poca intensidad que los canales semicirculares no son excitados, con lo que el movimiento no es percibido por el aparato vestibular. Sin embargo, como el piloto se da cuenta de la maniobra por los instrumentos, intenta corregir el alabeo y entonces nota por el aparato vestibular que provoca un alabeo en sentido contrario, cuando realmente lo único que ha hecho ha sido volver el aparato al vuelo normal.

- **Vestibular**

- *Ilusión optogiratoria o Nistagmus*, que es una alteración de la estática del globo ocular con movimientos involuntarios alternantes de los ojos, que se caracterizan por presentar un componente lento de movimiento del ojo hacia un lado y a continuación un movimiento rápido de recuperación hacia la posición primitiva.

La experimenta el piloto que fija la atención en un punto u objeto luminoso, mientras vuela en un avión sometido a una gran aceleración angular. El punto parece estar en movimiento, incluso cuando el avión ha vuelto al vuelo recto y nivelado. La causa del nistagmus son los impulsos nerviosos procedentes de los canales semicirculares analizados erróneamente por el cerebro.

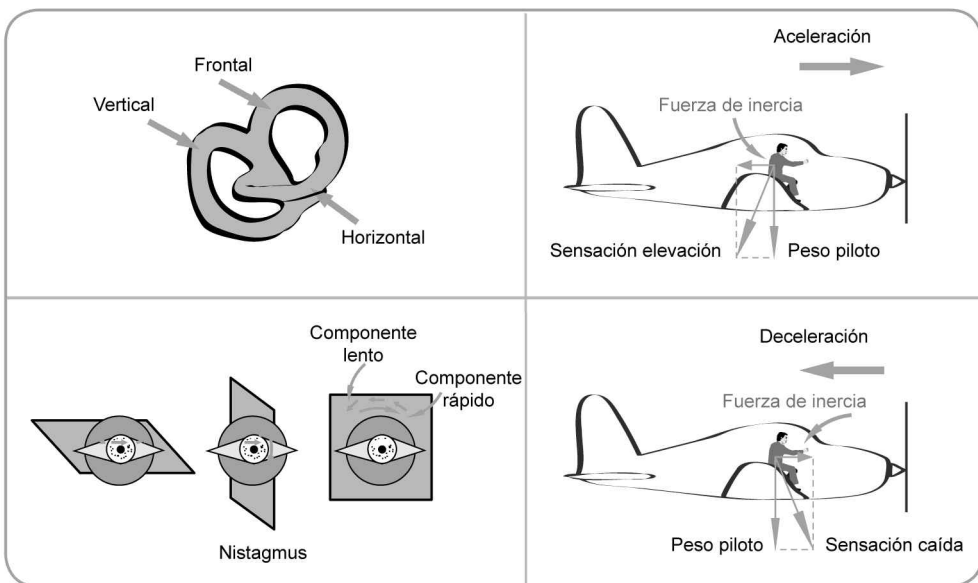


Figura 10.8. Ilusiones vestibulares.

- *Aceleración*, que se presenta cuando estando en vuelo a velocidad constante el piloto acelera, con lo que la componente entre el peso del piloto y la fuerza ejercida sobre él hacia atrás debida a la aceleración del movimiento, en lugar de ser vertical es inclinada, y el piloto nota una falsa sensación de elevación.
- *Deceleración*, donde la componente entre el peso del piloto y la fuerza ejercida sobre él hacia adelante, debida a la deceleración del avión, está inclinada hacia adelante dando al piloto una sensación falsa de caída.
- **Mixta: vértigo.** La integración inadecuada de las ilusiones visuales, vestibulares y propioceptivas conduce a un estado de *desorientación espacial* o *vértigo*. Cuando el horizonte es perfectamente visible, la información correspondiente que recibe el cerebro es lo suficientemente importante como para descartar las posibles informaciones contradictorias de los otros sistemas vestibular y propioceptivo. Pero si no hay horizonte, volando entre nubes, con niebla o por la noche sin ninguna referencia terrestre, es cuando pueden presentarse los problemas.

Una aceleración angular o lineal o mixta combinada con movimientos bruscos de la cabeza, o el simple hecho de sonarse, con una afectación vestibular existente (a través de la trompa de Eustaquio), origina un cambio brusco de presión en el oído medio, lo que excita falsamente el aparato vestibular del oído interno enviando al cerebro toda una serie de mensajes contradictorios. La consecuencia clínica es una sensación de desvanecimiento con náuseas y mareos.

Cómo hacer frente a las ilusiones sensoriales.

No es recomendable para el piloto tomar medicamentos contra el mareo, a no ser por prescripción facultativa, y nunca pilotando en solitario, porque reducen la respuesta vestibular a los movimientos de rotación y provocan embotamiento cerebral (somnolencia).

Ante cualquier duda, el piloto debe descartar las falsas informaciones de su cerebro y fiarse exclusivamente de los instrumentos que le indicarán su posición respecto al horizonte.

10.6. FACTORES HUMANOS

10.6.1. Generalidades

Los factores humanos forman parte de los accidentes e incidentes aéreos que se producen en todo el mundo. Si bien el error humano es inevitable, y acompaña a toda actuación del hombre, sí es posible disminuir su frecuencia y lograr que sus consecuencias sean mínimas para la seguridad del vuelo.

En 1940 se estableció que tres de cada cuatro accidentes en aviación eran debidos a fallos humanos, lo que fue confirmado por la IATA (International Air Transport

Association) en el año 1975. La colisión de dos Boeing 747 en Tenerife en 1977 con la pérdida de 583 vidas evidenció la importancia de los fallos humanos. El 70% de los accidentes de aviación son provocados por errores del hombre.

Ejemplos de probabilidades de fallos humanos:

Según el manual de A.D. Swain y H.E. Guttman, *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications* NUREG/CR 1278 1983:

- Lectura de indicadores analógicos (altímetro, anemómetro, etc.).
0,003 ($\pm 0,001$ a $0,01$) (en 1.000 lecturas realizadas en un año, habrá tres errores de promedio).
- Lectura de un instrumento digital (DME, cifras de un HSI, etc.).
0,001 ($\pm 0,0005$ a $0,005$) (en 1.000 lecturas habrá una con error).
- Accionamiento del tirador de la mezcla en una avioneta (con el riesgo de parar el motor en vuelo por mezcla pobre) en entorno normal = 0,003 ($\pm 0,001$ a $0,01$) (en 1.000 accionamientos se presentarán tres errores) en condiciones de alto estrés 0.5 ($\pm 0,1$ a $0,9$). (En 10 accionamientos habrá 5 errores.)

La OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) de Montreal (Canadá) ha editado manuales sobre factores humanos que ilustran los conceptos fundamentales sobre los factores humanos, la instrucción de la tripulación de vuelo, la ergonomía, etc.

10.6.2. Modelos y tipos de errores

Durante los primeros tiempos de la aviación, los aviones se fabricaban básicamente para que volasen y los pilotos debían necesariamente acoplarse a los mismos. Gracias a los avances en ergonomía, a la gradual automatización de los puestos de pilotaje y a una mayor comprensión de la interfase hombre-máquina, se ha invertido la tendencia y actualmente se proyectan los aviones para que se acoplen a los pilotos. Citado de la declaración de principios de Delta Air Lines en 1990, «el piloto es el componente más complejo, capaz y flexible del sistema de transporte aéreo, y como tal es el más adecuado para determinar el uso opcional de los recursos en una situación determinada». La experiencia indica que la automatización optimiza las operaciones y las hace más seguras, y que si bien elimina algunos tipos de errores humanos puede aumentar la posibilidad de que aparezcan otros mayores.

Un modelo conceptual de los factores humanos lo constituye el modelo SHEL (*Software, Hardware, Environment, Liveware*) ideado por Edwards (1972) y Hawkins (1984), que relaciona el hombre con interfases del sistema aeronáutico.

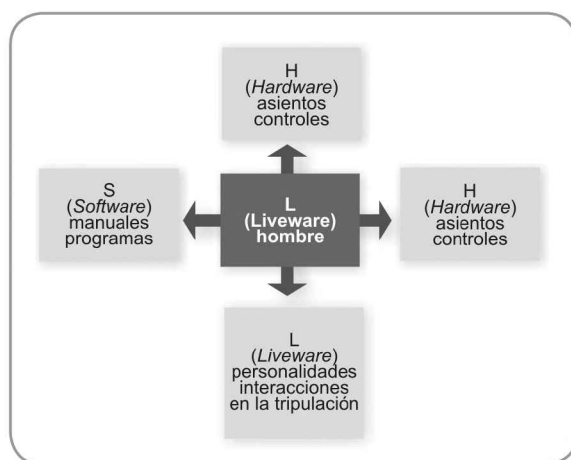


Figura 10.9. *Modelo SHEL.*

Otra forma de concepción es equiparar al hombre con la CPU (*Central Processing Unit*) de un ordenador al que llega todo tipo de información a través de los sentidos (vista, oído, olfato, gusto y tacto) y que actúa sobre el exterior a través de las extremidades. De este modo se sigue que el hombre, análogamente a la CPU, tiene dos tipos de memorias:

- **Memoria a largo plazo**, que puede realizar tareas dinámicas, efectuar razonamientos lógicos, etc., con una velocidad de procesamiento de unos 100 bits/segundo, y con una capacidad de 10^{12} bits.
- **Memoria a corto plazo**, que puede realizar trabajos automáticos, retener hasta siete números de teléfono, pero que no es demasiado fiable y está sujeta a errores frecuentes. Una distracción elimina instantáneamente el contenido de la memoria inmediata.

Los sentidos del hombre (vista, oído, olfato, gusto y tacto) reciben una información del exterior de los 10^9 bits/segundo y como la velocidad del hombre como procesador voluntario es menor de 100 bits/segundo, se sigue que el modelo humano debe llegar al compromiso de realizar un muestreo con prioridades. Así ocurre, cuando el hombre pasa por situaciones de peligro. El autor recuerda que en un vuelo en una avioneta, sin horizonte artificial, se metió inadvertidamente dentro de nubes y se encontró bruscamente en condiciones de vuelo sin visibilidad, de tal manera que optó instintivamente por gobernar la avioneta según el ruido del motor (o sea, las rpm de la hélice): si aumentaban las rpm tiraba hacia sí de la palanca de mando, mientras que si las rpm bajaban, empujaba hacia adelante la palanca.

El gobierno del avión era lo esencial, de modo que filtraba las manifestaciones de pánico de su compañero. Al cabo de unos 20-40 segundos la avioneta salió fuera de nubes, y la situación de ansiedad terminó, volviendo todo a la normalidad.

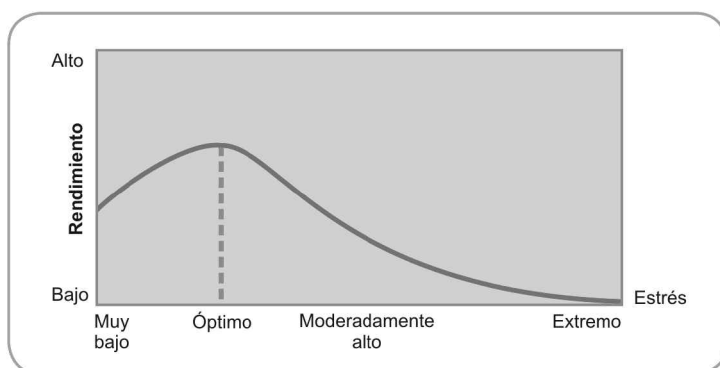


Figura 10.10. *Relación rendimiento-estrés en el hombre.*

Los errores que comete el hombre pueden ser inducidos por el diseño, por el propio piloto, pueden ser aleatorios, sistemáticos y esporádicos, o pueden ser por omisión (saltarse un ítem en una lista), por comisión (hacer algo que no hay que hacer) y por sustitución (hacer algo que hay que hacer pero hacerlo de modo erróneo).

Entre los errores que puede cometer un piloto de avioneta destaca el llamado *error de fijación*. Se presenta típicamente durante el vuelo visual donde el piloto debe identificar los puntos de los tramos de vuelo. El paisaje sobre el que se vuela va cambiando, de tal modo que el piloto se confunde al identificar un pueblo o un accidente del terreno y cree estar en una posición determinada. Aunque va sobrevolando zonas que ponen en evidencia su error, continúa valorando inadecuadamente su posición y actuando erróneamente de forma persistente, hasta llegar quizás a perderse en vuelo. En particular el vuelo sobre nubes, que un piloto VFR debe evitar siempre, puede conducir al agotamiento del combustible. Gracias a las ayudas a la navegación, y a la posibilidad de pedir ayuda al control de aproximación o a la torre de control, es difícil que estas situaciones empeoren. La ayuda del control de aproximación con el respondedor puede ser muy valiosa.

En los vuelos comerciales, si bien son menos probables los errores de este tipo, se solucionan con un entrenamiento periódico mediante simuladores, con la adopción de medidas tendentes a que no aparezcan problemas de grupo, como la conformidad a las decisiones del comandante, o problemas individuales como la lateralidad, la fatiga y el estrés, con la disminución de la presión del entorno y a ser posible con la condición de que uno de los miembros de la tripulación esté suficientemente «fresco» y «neutral» para reformular la situación de vuelo.

10.6.3. Vuelo en las cabinas de cristal

La implantación de la cabina de cristal chocó en su momento con la mentalidad de muchos pilotos, en particular los más veteranos con miles de horas de vuelo, cuyos modelos mentales estaban preparados para los instrumentos analógicos elec-

tromecánicos de los años 60-70, y que tenían dificultades en seguir la secuencia de acontecimientos que se producen en las situaciones específicas vividas dentro de la cabina automatizada con las nuevas tecnologías digitales. Por ejemplo, en el caso de tener que realizar un aborto en un despegue a 40 nudos de velocidad con las palancas del gas en modo automático, la mayoría de los pilotos respondió: «Palanca del gas hacia atrás, inversores de empuje y frenos manuales». No caían en la cuenta de que por debajo de 64 nudos, las palancas del gas automáticas debían ser desconectadas manualmente para impedir que el sistema automático avanzara de nuevo los gases a fin de conseguir el empuje necesario en el despegue.

El sistema de gestión de vuelo FMS (*Flight Management System*) proporciona mucha información que no suele ser «transparente» al piloto veterano, lo que hace que este tenga dificultades para asimilar la secuencia automática de acciones que se suceden. De aquí que, aunque tenga toda la información disponible, en su proceso mental experimenta la sensación de que hay otro piloto fantasma (el FMS) que está al mando del avión, y dialoga con él, exclamando: «¿Qué me está haciendo?».

De hecho las cabinas de cristal están plenamente aceptadas por los pilotos más jóvenes, si bien, todos los pilotos presionan para que las grandes compañías fabricantes de aviones (Airbus Industries, Boeing, McDonnell Douglas) instalen mejores equipos automáticos que les permitan dominar totalmente el sistema y les hagan confortable el vuelo. De hecho, los avances tecnológicos del sistema han permitido simplificar las operaciones del avión y presentar a piloto la información más adecuada en cada momento del vuelo. De este modo, las cabinas de cristal están ya plenamente aceptadas en los aviones comerciales y se están incorporando a la aviación general.

11.1. GENERALIDADES

Ha llegado al fin el gran día: el primer vuelo en avioneta. Usted seguramente habrá volado muchas veces en grandes aviones de pasajeros, y, sentado al lado de la pequeña ventanilla, se sabe de memoria la visión de la tierra desde 10.000 metros de altura, el panorama cambiante que presenta la atmósfera, el aspecto amenazador de las torres de los cumulonimbus y se asombra cada vez que el avión atraviesa las nubes sin ver nada, en su descenso final hacia el aeropuerto. También, junto con los demás pasajeros, usted aplaude al comandante cada vez que este consigue un buen aterrizaje.

Sin embargo, le han hablado de la aviación ligera en la que parece que todo está al alcance de la mano. Ha recibido información por la lectura de algún libro, ha asistido a alguna conferencia, ha visto una película o simplemente algún viejo amigo, con el que ha coincidido unas horas, le ha contado su hobby de la aviación. Siente curiosidad, y ante la invitación de su amigo piloto acude al aeropuerto. Lo primero que le extraña es que le haya citado para una hora antes del vuelo, ya que usted está acostumbrado a meterse en su coche, darle al arranque y empezar a conducir por la carretera. Decide pues ser puntual y enterarse de qué va el tema, acompañando al piloto en todo momento, para conocer más detalles del vuelo.

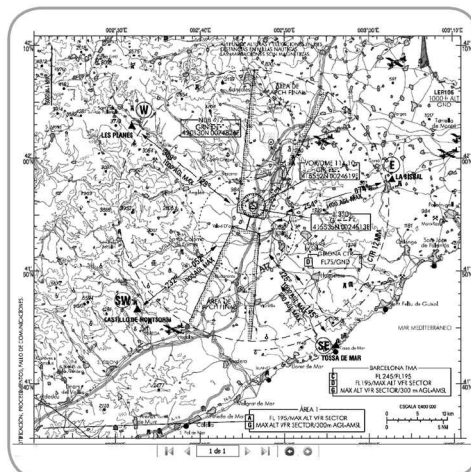
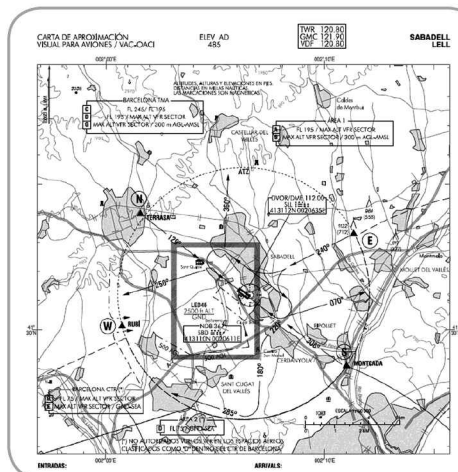
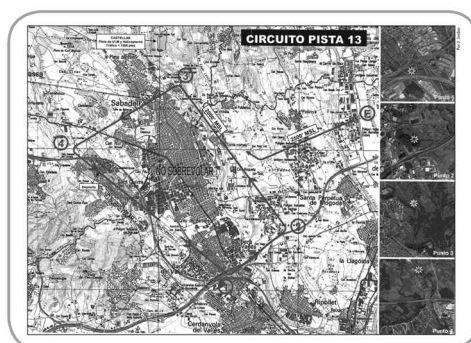
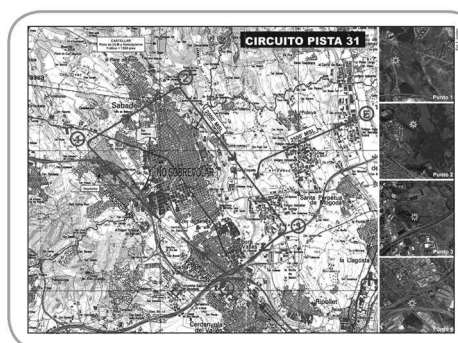
11.2. LA PREPARACIÓN

Su amigo piloto ha preparado el día antes en su casa la ruta del vuelo en el mapa y dispone de las cartas de aproximación visual de Sabadell y Girona, de los procedimientos de los circuitos de tráfico de las pistas 13 y 31 de Sabadell y del mapa de Jeppesen del TMA de Barcelona, donde ha señalado en rojo los tramos del vuelo y ha confeccionado una tabla típica del vuelo visual (VFR) con los rumbos, distancias, tiempos y ayudas disponibles en el vuelo.

Le muestra la información del AIP sobre *zonas prohibidas, restringidas y peligrosas* que puede encontrar en la ruta y que deberá evitar:

LER101 AMPURDÁN N (Girona)
 421817N 0030642E; 421538N 0030901E; 1.000 ft ALT Zona ecológica. Parque Natural.
 421456N 0030813E; 421722N 0030457E; GND Ecologic area. Nature Park.
 421817N 0030642E. Permanente / Permanent.
 LER106 AMPURDÁN S (Girona)
 421451N 0030437E; 421419N 0030738E; 1.000 ft ALT Zona ecológica. Parque Natural.
 Siguiendo la línea de costa hasta / following the GND Ecologic area. Nature Park.
 420819N 0030711E; 420758N 0030612E; Permanente / Permanent.
 421125N 0030632E; 421038N 0030505E;
 421050N 0030344E; 421214N 0030632E;
 421224N 0030428E; 421451N 0030437E.

Asimismo le enseña un GPS portátil (o uno incorporado en el panel) con el que podrá conocer la velocidad real respecto al suelo (GS), la distancia y el tiempo de llegada a los puntos (*waypoints*) de la ruta, y lo que es muy importante, la posición del avión, lo que le permitirá saber con exactitud si ha entrado inadvertidamente en el CTR de Girona (12 millas). Y también lleva una radio portátil por si le falla la del avión (lo que no es probable). Además le muestra el diagrama de carga y centrado de la avioneta, comprobando que al tratarse de un vuelo turístico el peso total no sobrepasará el indicado en el manual de vuelo y el centro de gravedad estará dentro de los límites indicados por el fabricante.



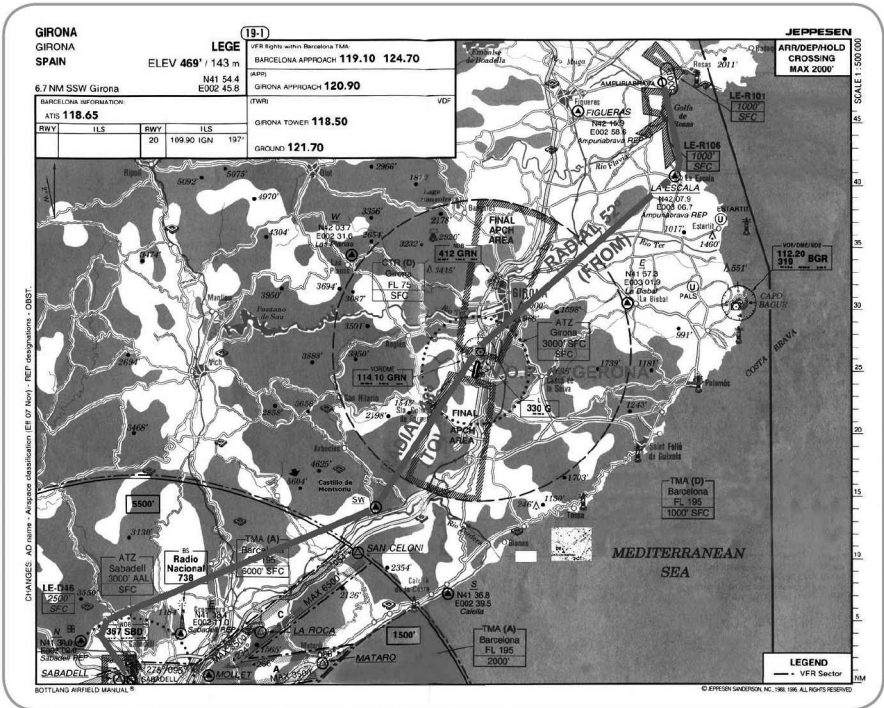


Figura 11.1. Tramos del vuelo.

Ficha de la ruta Sabadell (LELL) - Ampuriabrava (LEAP)						
Localidad	Rumbo (grados)	Altitud (pies)	Distancia (millas)	KtIAS (estimada - nudos)	Estimada (minutos)	Observaciones
Sabadell (LELL)						Torre 120,8, Vor Sabadell 122,4
5 millas fuera	320	Ascenso a 2.000 pies	5	80	3,75	Prolongación de pista
Punto SW (al lado Breda)	60	Ascenso a 3.000 pies	25	100	15	Llamar Girona aproximación 120,90
Girona	48	3.000 pies	15	100	9	VOR Girona 114,1
VOR Girona	52	3.000 pies	12	100	7,2	La Escala
12 millas fuera	52	3.000 pies - descenso a 1.500 pies	10	100	6	Llamar a Ampuriabrava (112,4) al llegar a La Escala
La Escala	350	1.500 pies	8	100	4,8	Posible paracaidismo en Ampuriabrava
Ampuriabrava (LEAP)		1.000 pies	2	80	1,5	Pista 17/35
Total			77		47,25	

Ante tanta información y tantas precauciones usted dice:

«¡Pues sí que es complicado volar! Si yo quiero ir a Ampuriabrava, cojo el coche, lo pongo en marcha, me pongo en camino y ya está. ¿Para qué tantas complicaciones?»

Respuesta clara, directa y concisa del piloto:

«Por qué, pues por la seguridad. Si yo sé dónde estoy, puedo comunicar por radio mi posición al controlador y este captará que tiene en comunicación a un buen piloto. Por otro lado la información de que dispongo es redundante, lo que me da más seguridad en el vuelo, pero lo que tengo muy claro es que en caso de que me fallen todos los instrumentos, que ya es difícil, puedo continuar volando en visual ya que conozco el terreno, y en todo caso siempre puedo volar hacia el este y encontraré el mar.»

El piloto y usted acuden al ATS (*Air Traffic Services*), que es la oficina de planes de vuelo. Allí cumplimentan el plan de vuelo utilizando el ordenador o bien piden una hoja de plan de vuelo y la rellenan a mano. Ponen como aeropuerto de salida Sabadell (LELL) y el de llegada Ampuriabrava (LEAP) y como alternativo el de Gerona (LEGE).

En la misma oficina o en la meteorológica piden información del tiempo (usualmente METAR, GAFOR, y las cartas de tiempo significativo). Consultan después los notams que les afectan en su ruta de vuelo y observan las imágenes del Meteosat. Todo ello para asegurarse de que dentro de los límites de probabilidad razonable no se van a encontrar volando en condiciones VFR marginales. Su amigo le comenta que no es la primera vez que desiste de un vuelo por la meteorología.

Tomando un café en el bar, el piloto, ya que usted le expresa su curiosidad por conocer todos los puntos que intervienen en un vuelo, lo hace de forma exhaustiva, realizando una comprobación de todos los puntos:

Documentación e información para el vuelo

- Documentación del avión (certificados de matrícula, de aeronavegabilidad, licencias de su estación de radiocomunicaciones, cuaderno de la aeronave, cartilla de motor y hélice, manual de vuelo del avión, certificado de seguro y listas de comprobación).
- Cartas de los campos (salida, destino y alternativos) (frecuencias de torre y aproximación, frecuencias de campos alternativos).
- Mapa del espacio aéreo para VFR, en el que se leen:
 - Restricciones del espacio aéreo: zonas restringidas (R), peligrosas (D) y prohibidas (P).
 - Alturas seguras indicadas en los mapas (máxima altura del terreno + 300 pies en cada cuadrícula).
 - Instalaciones de navegación (VOR, NDB).

- Performance del avión (características de vuelo de la aeronave):
 - Diagrama de peso y centrado.
 - Tablas de consumo, velocidad y rpm del motor según la altura de vuelo.
 - Tablas de carreras en despegue y aterrizaje y superando obstáculos de 50 pies.
 - Diagrama velocidad ascensional según la altura.
 - Diagrama velocidad horizontal según la altura y rpm del motor.
 - Valores de operación normal y límite del motor, presión y temperatura normal de aceite y combustible.
- Plan de vuelo autorizado por el ATS.
- Conclusión del plan de navegación y combustible.
- Trazado y división de la ruta en tramos de unos 10' de vuelo, apoyándola en puntos o accidentes fáciles de identificar y en ayudas (VOR, NDB), habiendo considerado la velocidad de crucero de la aeronave y teniendo en cuenta el viento probable en altura según las previsiones meteorológicas. Establecer el rumbo magnético a partir de la carta, sumando al rumbo geográfico la declinación oeste de la zona de vuelo de España.

Su amigo piloto le indica que el comandante de la aeronave es el responsable de todos los datos anotados en el *plan de vuelo*. Le comenta que sería imperdonable que hiciera un vuelo sobre el mar a distancia de la costa superior a la de planeo y que el avión no llevará chalecos salvavidas para todos los ocupantes, o bien que realizará el viaje sabiendo que tiene la radio en mal estado o que los instrumentos giroscópicos no responden.

11.3. EN EL AVIÓN

Desde el bar, charlando amigablemente y en un corto paseo se dirigen al avión (que estará en el parking de aviación general), donde dejan la documentación y se preparan para lo que se llama «la vuelta al avión». Consiste en el seguimiento de la llamada *lista de verificación* (chequeo) cuya finalidad es la comprobación de todos los puntos importantes de la aeronave con el fin de que el vuelo sea seguro. Las listas pueden estar impresas, ser recordadas usando reglas mnemotécnicas como autocomprobación, e incluso ser recitadas en voz alta.

El piloto llama su atención sobre la hélice. Considera como si las magnetos estuviesen conectadas y no permanece ni permite que nadie se sitúe cerca de la hélice, pues un cortocircuito en el contacto y una ráfaga de viento imprevista o el apoyo de una persona sobre la misma podría provocar su giro, con el grave accidente que ello supondría si el motor se pusiera en marcha (por este motivo, el piloto al parar el motor deja el tirador de la mezcla en «pobre»).

En la cabina

- Batería ON
- Comprobar nivel combustible
- Llave combustible Abierta
- Flaps Bajar 20°
- Batería OFF

Inspección exterior (vuelta al avión)

- Comprobar el tren izquierdo.
- Comprobación del neumático izquierdo.
- Quitar la funda del tubo Pitot.
- Comprobar el estado del borde de ataque izquierdo.
- Verificar el estado de la luz de navegación (roja) en la punta del ala izquierda.
- Comprobación del estado de los flaps y del alerón izquierdos.
- Drenar una muestra del combustible (válvula de purga inferior) con el fin de comprobar que no contenga agua ni sedimentos (el motor podría pararse en pleno vuelo).
- Comprobación del nivel real (los indicadores pueden fallar).
- Asegurar el tapón del combustible.
- Verificar la toma estática izquierda (que no esté obturada: el altímetro, el anemómetro y el variómetro funcionarían mal).
- Verificar los timones y fijaciones de la cola.
- Verificar la luz blanca de cola.
- Verificar la toma estática derecha.
- Comprobar el estado de los flaps y del alerón derechos.
- Verificar el estado de la luz de navegación (verde) en la punta del ala derecha.
- Comprobar el estado del borde de ataque derecho.
- Comprobar el interruptor de pérdida (al subirlo, con el interruptor de la batería en ON, debe sonar la bocina).
- Comprobar el tren derecho.
- Comprobar el neumático derecho.
- Comprobar el nivel de aceite y si es necesario reponerlo.
- Comprobar el capó del motor.
- Comprobar el tren delantero.
- Comprobar el neumático delantero.

- Comprobar las entradas de aire.
- Verificar que la correa del alternador no tenga un juego excesivo.
- Examinar el buen estado de la hélice.

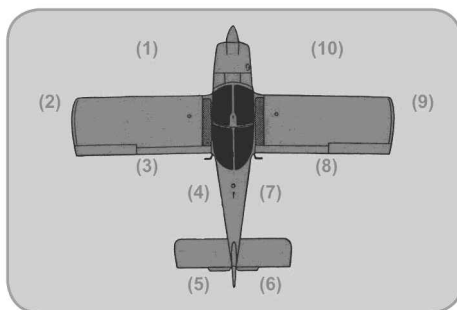


Figura 11.2. *Vuelta al avión.*

Ahora el piloto y usted suben al avión. Dependiendo de la experiencia, veteranía y cortesía del piloto, que ahora es el comandante, le invitará a sentarse a la izquierda del avión (que es la del comandante). Tiene lugar ahora la:

Inspección interior antes de la puesta en marcha

- Cabina cerrada y bloqueada.
- Ajuste y comprobación de los asientos.
- Cinturones de seguridad abrochados.
- Freno aparcamiento puesto.
- Controles libres.
- Compensador: comprobar y volver a neutro.
- Fusibles y disyuntores (*breakers*) dentro.
- Radio y equipo eléctrico OFF (podrían fundirse los fusibles de protección si el motor se pusiera en marcha con la radio conectada).

Arranque del motor

Motor frío:

- Mezcla rica
- Calefacción carburador OFF
- Batería ON
- Luz estroboscópica ON
- Flaps SUBIR
- Bomba eléctrica ON y comprobar
- Magneto 1 + 2 (BOTH)

Motor caliente:

- Id con: gas posición ralenti

Tiempo muy frío:

- Id con inyecciones a 900-1.000 rpm

Motor inundado:

- Bomba eléctrica OFF
- Mezcla pobre
- Gas 100%

- Gases: 2 o 3 inyecciones - 1 cm
- Starter varios segundos
- Área hélice libre
- Al arrancar el motor pasar a mezcla rica
- Starter ON (máx. 10 a 30 seg)

Después del arranque del motor

- Presión aceite en arco verde en 30 seg.
- Gas 1.000 - 1.200 rpm.
- Bomba eléctrica OFF: si la bomba mecánica se avería el motor se parará en el rodaje.
- Interruptor alternador ON.
- Aguja voltímetro verde.
- Comprobar panel luces.
- Comprobar el manómetro de vacío de los instrumentos giroscópicos.
- Radio y equipo eléctrico ON.
- Altímetro QNH.
- Ajustar el direccional con la brújula magnética.
- Luces de navegación ON.

Comunicación por radio

- Aeronave: Torre de Sabadell, EC-GFO. Buenos días.
- Torre: GFO Buenos días. Adelante.
- Aeronave: GFO en aparcamiento, vuelo a AMPURIABRAVA, instrucciones.
- Torre: GFO rueda a punto de espera 31 (es decir, la pista orientada al rumbo magnético de 310°).
- Aeronave: Rodando a punto de espera 31, GFO.

Rodaje

- Freno parking OFF.
- Comprobar frenos.
- Comprobar instrumentos giroscópicos (coordinador virajes y direccional).
- Rodar con la máxima precaución.

Punto de espera

- Freno parking ON.
- Ajustar instrumentos de vuelo.
- Controles de vuelo libres.
- Compensador en despegue (*take off*).

- Instrumentos de motor en verde.
- Régimen 1.800 rpm.
- Magnetos: conmutar a R y L (máxima caída 175 rpm), diferencial 50 rpm.
- Magneto L + R (both, ambos).
- Comprobar calefacción carburador, caída máxima 200 rpm.
- Comprobación mezcla: empobrecerla hasta reducir rpm, y volver a rica.
- Comprobación ralentí 600-650 rpm.
- Bomba eléctrica ON.
- Flaps 10°.
- Comprobar cinturones abrochados.
- Cabina cerrada y bloqueada.
- Freno parking OFF.

Comunicación por radio

- Aeronave: GFO en punto de espera 31, LISTO.
- Torre: GFO autorizado a despegar, viento calma, comunique 5 millas fuera.
- Aeronave: Autorizado a despegar GFO.

Despegue

- Rpm mínimas 2.250 (normal 2.500).
- Antes de alcanzar los 90 km/h (49 kt), comprobar todo en verde.
- Levantar suavemente el morro a 90 km/h (49 kt) (velocidad de rotación).
- Subida inicial 130 km/h (70 kt).
- En altura de seguridad.
- Velocidad 140 km/h (76 kt) (gradualmente pasa a 200 km/h).
 - Bomba eléctrica OFF.
 - Flaps arriba.
 - Gases: reducir a 2.400-2.500 rpm.
- Crucero.
- A gran altura usar el mando de mezcla (buen funcionamiento del motor).

Si el viento está cruzado con la pista, el piloto dirigirá la palanca hacia el viento (igual que las aves) y despegará con una velocidad algo mayor. Al despegar contra el viento, alcanza más rápidamente la velocidad de rotación (se eleva la rueda de morro), reduce la carrera de despegue y consigue una mayor seguridad en el caso de paro del motor en el despegue.

Los tramos del circuito son: despegue, ascenso inicial, viraje con viento cruzado, y después al llegar al aeródromo de destino el tramo de viento en cola, el tramo básico

(base), el viraje a aproximación final y el tramo final en el que se va directo a la pista para aterrizar.

Crucero

Y ya a suficiente altura, su amigo piloto, con toda probabilidad, le dejará los mandos para que lleve directamente el avión, le dirá que se relaje, accionando la palanca o el volante sin ejercer fuerza alguna, solo con una ligera presión, gracias al compensador que le permitirá llevar los mandos sin esfuerzo. Y le señalará que debe volar en visual por la posición del morro del avión respecto al horizonte. Si intenta fijarse en los instrumentos, con toda probabilidad su vuelo será errático, debido al retardo inherente en las lecturas del anemómetro, el altímetro y el variómetro.

A 5 millas de distancia de la torre (su amigo lo sabe bien por el conocimiento del terreno, o por el tiempo de vuelo transcurrido o porque tiene un GPS portátil o fijo en el panel del avión, que le señala la distancia a destino y el tiempo para llegar al campo, o bien porque tiene sintonizado el VOR de Sabadell y tiene DME), el piloto comunicará:

Comunicación por radio

- Aeronave: GFO 5 millas fuera.
- Torre: Buen viaje. Cambie a frecuencia de ruta.
- Aeronave: GFO.

En vuelo hacia el punto SW (al lado Breda) el rumbo es de 60° , por lo que la frecuencia de ruta es de 125,25, que corresponde a Barcelona (LEBL) dentro del cuadrante 0° - 180° (sería de 127,70 para el cuadrante 181° - 360°).

En vuelo, si el piloto desea conocer el estado del tiempo en Gerona puede sintonizar la frecuencia de 127,60 del servicio Volmet donde, mediante sintetizadores de voz, recibe información meteorológica relativa a aeropuertos de cada región (velocidad del viento, hora UTC del informe, estado del cielo (lluvioso, cubierto), QNH (presión atmosférica), visibilidad y temperatura).

El vuelo va transcurriendo sobre la ruta preestablecida volando sobre el terreno o por niveles. Su amigo decide cruzar el CTR de Gerona para reducir el tiempo de vuelo, de modo que al llegar al castillo de Montsoriu (punto SW, sierra whiskey de notificación de Gerona), cerca de Breda, el piloto notifica:

Comunicación por radio

- Aeronave: Torre de Gerona de EC-GFO, buenos días.
- Torre: GFO adelante.
- Aeronave: GFO de SABADELL para AMPURIABRAVA. En punto SW (*Sierra Whisky*) solicito cruzar su zona.
- Torre: Autorizado. No hay tráfico notificado. Notifique 12 millas fuera.
- Aeronave: Autorizado a cruzar su zona, GFO.

El piloto puede proseguir el vuelo visualmente o siguiendo el radial 48° del VOR 114,1 de Gerona con la bandera en TO. Una vez cruzado el VOR prosigue en alejamiento (FROM) en el radial 52° (50° geográficos más 2° declinación oeste) para interceptar La Escala, que es un punto de notificación del aeropuerto de Ampuriabrava.



Figura 11.3. VOR a GERONA.

A las 12 millas alejado del aeropuerto de Gerona (lo sabe por el conocimiento del terreno o por el tiempo de vuelo transcurrido o por estar en el cruce del radial 52° del VOR de Gerona con el radial 294° (292° geográficos más 2° declinación oeste) del VOR de BAGUR (112,2), o bien por llevar DME), comunica con la torre del aeropuerto de GERONA:

Comunicación por radio

- Aeronave: GFO 12 millas fuera.
- Torre: Buen viaje. Cambie a frecuencia de ruta.
- Aeronave: GFO.



Figura 11.4. VOR a La Escala.

Al alcanzar La Escala comunica con la torre de Ampuriabrava en la frecuencia de 122,4.

Comunicación por radio

- Aeronave: Torre de AMPURIABRAVA de EC-GFO, buenos días.
- Torre: GFO adelante.
- Aeronave: GFO de SABADELL para su campo. En LA ESCALA, instrucciones.
- Torre: Autorizado directo a final pista 35.
- Aeronave: Directo a final 35, GFO.

Al ser autorizados a descender y proceder directamente a final de la pista 35 (orientada a 350° magnéticos), su amigo piloto le comenta la amabilidad del controlador, que les permite ahorrarse el circuito estándar de viento en cola, base y final, lo cual hubiera representado más tiempo de vuelo.

Descenso

- Potencia: la requerida (2.200 rpm o menos).
- Calefacción carburador: ON.
- A los 5.000' poner mezcla: rica.
- Cada 1.500 pies dar gas para evitar el enfriamiento del motor y las bujías.

Aproximación o preaterrizaje

- Gas: 2.300 rpm.
- Mezcla rica.
- Bomba eléctrica: ON.
- Calefacción carburador: ON.
- Flaps colocarlos a velocidad <175 km/h (94 kt) 10°.
- Velocidad: 150 km/h (81 kt).

Final

- Calefacción carburador: OFF.
- Velocidad: flaps entre 0° y 10° 140 km/h.
- Flaps 20°: 130 km/h.

Comunicación por radio

- Aeronave: Final 35 GFO.
- Torre: GFO autorizado a aterrizar viento 30° 10 nudos.
- Aeronave: Autorizado a aterrizar GFO.

Aterrizaje

- Si hay ráfagas en la pista: flaps en posición 0° o 10°.
Velocidad 140 km/h (76 kt) + 1/2 velocidad ráfagas.
- Al bajar la velocidad en el suelo salir por la primera intersección.

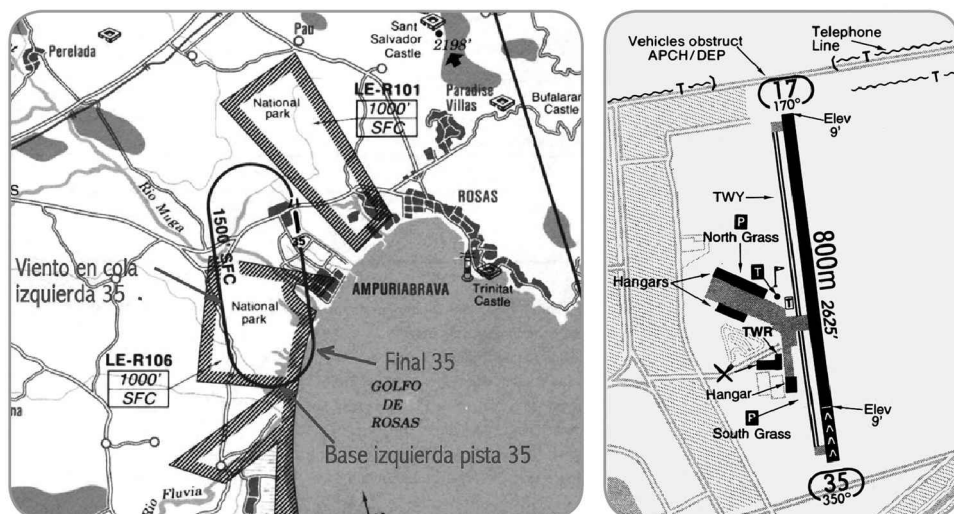


Figura 11.5. Circuito de aeródromo de Ampuriabrava (LEAP).

Comunicación por radio

- Aeronave: GFO, pista libre.
- Torre: GFO siga al coche señalero, o aparque en el parking de aviación general.
- Aeronave: Gracias y buenos días GFO.

En tierra y aparcando

- Bomba eléctrica: OFF.
- Flaps: Arriba (UP).
- Freno aparcamiento: ON.
- Radio y equipo eléctrico: OFF.
- Rpm: 1.000.
- Mezcla pobre: el motor se para.
- Interruptor magneto: OFF.
- Interruptor alternador: OFF.
- Instrumentos navegación: OFF.
- Interruptor batería: OFF.
- Sacar llave magnetos:

Bien, el vuelo ha terminado, usted y su amigo piloto salen de la cabina y sonrientes acuden al ATS (*Air Traffic Services*). Allí charlan amigablemente con el personal del aeropuerto, abonan las tasas de aterrizaje, cumplimentan la hora de llegada en el libro de vuelos y preparan el plan de vuelo para la vuelta. Observan a los paracai-



distas que después de lanzarse aterrizan espectacularmente rozando suavemente la pista, y cómo no, aprovechan para ir al bar a tomarse un refresco y rememorar los buenos momentos vividos, sabiendo que su avión les espera para el regreso.

El piloto piensa que no hay nada más agradable que volar con un amigo, es decir usted, que ha disfrutado del vuelo y que no puede disimularlo, y si le pregunta qué siente, será incapaz de describirlo con palabras, no las encontrará.

Las otras aeronaves

12

12.1. LOS AERÓSTATOS

Los aeróstatos son aparatos formados por una envoltura que encierra un gas más ligero que el aire (hidrógeno, helio o aire caliente). Según el principio de Arquímedes, el empuje, es decir, el peso del volumen de aire que desalojan, es igual o mayor que su peso total (envoltura, gas interior, barquilla y tripulantes). De este modo flotan o ascienden en el aire.

12.1.1. El globo

El globo es un aeróstato que flota simplemente en el aire sin tener medios de dirección horizontal, solo puede ascender o descender. El tipo más usual es el que calienta el aire mediante un quemador de propano.



Figura 12.1. *Globo.*

El aeronauta, para dirigir el globo, debe llevarlo a una altura adecuada en la que existan corrientes de aire favorables, lo cual representa sin duda una habilidad extraordinaria. Tiene el apoyo de un jeep en tierra en comunicación continua por radio que le ayuda a hinchar el globo y que lo recoge en el lugar donde decide bajar o bien donde se ve forzado a terminar el viaje.

12.1.2. El dirigible

El dirigible tiene una estructura en forma de cigarro rellena de gas helio (siete veces más ligero que el aire). Los primeros dirigibles contenían hidrógeno, que es un gas catorce veces más ligero que el aire, pero que es inflamable y muy peligroso (tragedia del Hindenburg el 6 de mayo de 1937).



Figura 12.2. *Dirigible.*

Tiene motores en la barquilla donde están los tripulantes y un gancho en la nariz que sirve para anclarlo en un palo vertical fijo en el suelo, alrededor del cual puede girar por la acción del viento. Necesita el apoyo de un equipo de personas de tierra pero solo para moverlo durante las maniobras de despegue y aterrizaje.

12.2. ALA ROTATORIA

Leonardo da Vinci diseñó en el siglo XV una hélice horizontal ideada para despegar verticalmente, lo que fue el principio del nacimiento del helicóptero. Tuvieron que resolverse múltiples problemas para que el helicóptero volara correctamente. Y, sin duda, el invento del autogiro contribuyó a su desarrollo.

12.2.1. El autogiro

El autogiro fue inventado por Juan de la Cierva en 1923, preocupado en evitar los accidentes aéreos que se producían por pérdida de velocidad. Ideó unas palas rotatorias que giraban libremente por la acción del viento de la marcha, con el fuselaje y el piloto suspendidos de su centro de giro. El descubrimiento original de De la Cierva fue que las palas, en su giro, llamado *autorrotación*, sustentaban el peso del aparato.

El principio de funcionamiento de las palas es complicado. Considerando cada pala dividida en tres partes, la parte central crea una fuerza de sustentación inclinada hacia adelante cuya componente horizontal favorece la rotación, mientras que la componente de las otras dos partes extremas frena la rotación. El equilibrio entre estas fuerzas, estabiliza la rotación hacia las 350 rpm con una variación de un 10%. La pala que avanza lo hace con un menor ángulo de ataque que la que retrocede, debido a que va a mayor velocidad respecto al aire y ambas deben proporcionar la misma sustentación. Esto obliga a que las palas sean flexibles, y fue la clave del éxito del autogiro ideado por De la Cierva.



Figura 12.3. Autogiro.

El piloto dispone de una palanca con la que desplaza el punto de aplicación del peso de la estructura respecto al centro de giro de las palas (cabeza del rotor). Así, en crucero (40 a 120 km/h), se vuela del mismo modo que en un avión, pero de forma mucho más precisa, casi con el pensamiento.

La diferencia de ángulos de ataque entre la pala que avanza y la que retrocede, provoca una diferencia de resistencias aerodinámicas y por lo tanto una vibración normal, que es propia del autogiro, y que el piloto nota en la palanca. En caso de una vibración excesiva o anormal, deben alinearse las palas colocándolas en un caballete y asegurando que un cordel entre puntos extremos similares pase por el centro del bloque del rotor. Otro motivo de vibración puede ser debido a una diferencia de posición (*undersling*) entre el centro del cono que forman las palas en vuelo con relación al tornillo horizontal (tornillo de Jesús) que sujeta el rotor, lo que se soluciona con un cabezal con varios orificios o bien por cálculo.

Por otro lado, las palas en vuelo deben pasar por el mismo plano en cada revolución (*tracking*), lo que puede comprobarse, bien por tanteo o mediante un palo flexible lleno de pintura que debe dejar la misma marca en cada pala, o bien por observación de dos señales en cada una de las palas que deben superponerse. El sistema más efectivo, pero solo válido en autogiros de dos plazas, es sincronizar una luz estrobos-

cópica con el giro de las palas habiendo marcado en una de ellas una raya radial y en la otra una raya perpendicular. Si el tracking es correcto se verá una cruz luminosa en el extremo de las palas.

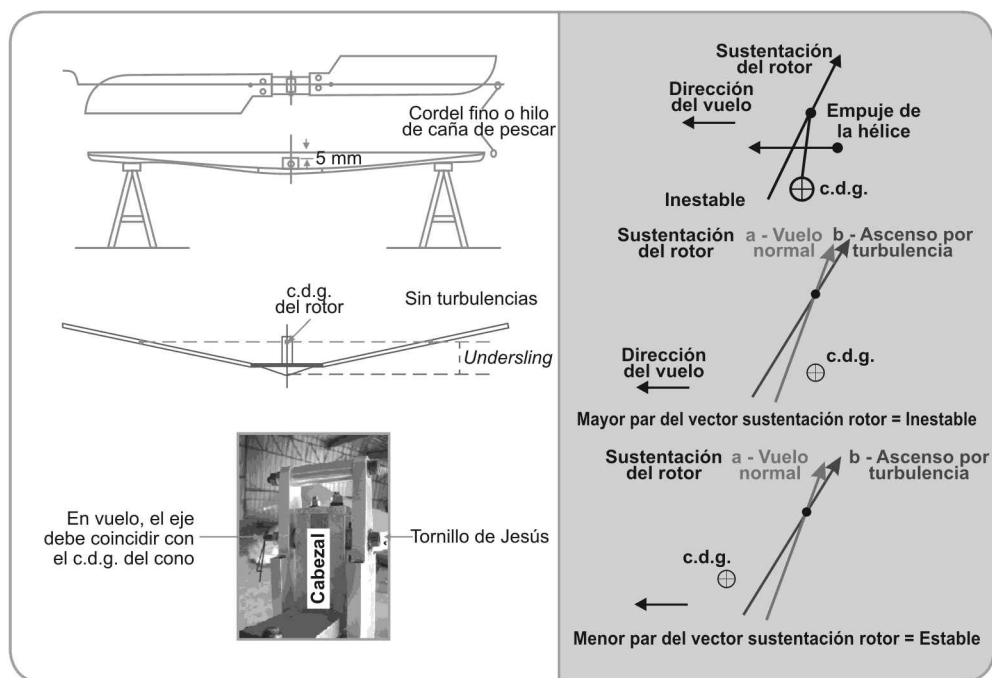


Figura 12.4. *Equilibrado del autogiro. Fuente: Nicopasux S.L. y Rotocraft Stability (Jean Fourcade).*

En tierra, para despegar, el piloto embraga el motor a las palas, y a partir de un cierto límite de rpm, desembraga y avanza con el plano de las palas muy inclinado hacia atrás, de modo que estas con el viento de la marcha alcanzan las 350 rpm y el autogiro despegar, habiendo recorrido unos 50-80 metros. El aterrizaje se realiza como en un planeo con motor (70-80 km/h), recogiendo la palanca cuando el autogiro está a un palmo del suelo, con lo que el plano de giro de las palas actúa como un paracaídas de frenado, y la máquina se detiene en 2-4 metros.

El autogiro es muy seguro. En caso de parada de motor, desciende en autorrotación (coeficiente de planeo 2,5:1, a una altura de 300 metros, recorrerá 750 metros en horizontal hasta llegar al suelo). Un piloto de avioneta que desee volar en autogiro debe ser ante todo «humilde», aunque tenga miles de horas de vuelo. La máquina es totalmente diferente de las demás y el piloto precisa obligatoriamente de doble mando. Dos son las maniobras más peligrosas y que están prohibidas:

- 1) **Cero «g»**, es decir, volar sin gravedad imitando el lanzamiento de una piedra (parábola). En una avioneta la maniobra equivale a peso nulo de la aeronave

sin pérdida de velocidad, pero en un autogiro el ascenso a gran velocidad después de un picado y el empuje de la palanca hacia adelante para describir la parábola, equivale a la interrupción del flujo de aire a través de las palas, con lo que estas, al cabo de 2-3 segundos, bajan de vueltas y entran en batimiento. La anulación de la fuerza de sustentación combinada con la tracción de la hélice origina un par de vuelco en 1 a 2 segundos que pone la máquina en invertido y, además, las palas chocan contra la hélice propulsora y sobreviene el accidente. La maniobra correcta es dejar de empujar la palanca de modo que el autogiro baje de velocidad y descienda, o bien hacer un giro de 180° para descender inmediatamente después del ascenso de modo que el flujo de aire continúe manteniendo las palas en movimiento. Para evitar el par de giro provocado por la hélice sobre el centro de gravedad del autogiro cuando las palas dejan de sustentar, algunos fabricantes construyen el autogiro de modo que prácticamente el eje de tracción de la hélice pasa exactamente por el c.d.g. de la máquina o a muy poca distancia. Para ello bajan el motor y modifican el tubo de cola, para que la hélice gire libremente, y al mismo tiempo, levantan el asiento del piloto.



Figura 12.5. Autogiro con eje de la hélice bajo y con el piloto y pasajero a más altura para conseguir que el eje de la hélice coincida con el c.d.g. Fuente: Sallen Aviación y Rotor Flight Dynamics (Dominator).

- 2) **PIO (Pilot Induced Oscillation)**, u oscilación inducida por el piloto. En vuelo de crucero, el autogiro puede encontrarse con corrientes de aire descendentes, con lo que empieza a perder altura. El piloto sin experiencia tira de la palanca hacia sí con el fin de parar el descenso, pero lo hace cuando la máquina, debido a sus características, iba a subir por su cuenta, con lo que el ascenso es mucho

mayor. A continuación, el piloto intenta descender empujando la palanca, pero refuerza más la pérdida de altura propia de la máquina. Así, las oscilaciones sucesivas se van amplificando, hasta que el autogiro choca contra el suelo. La única forma de parar esta oscilación para el piloto inexperto es reducir motor y aterrizar. Es aconsejable colocar un timón de altura de dimensiones generosas para estabilizar el vuelo y evitar el PIO.

Ken Wallis construyó el autogiro Little Nellie, que aparece en la película de James Bond *Solo se vive dos veces*, y estableció unas marcas espectaculares de vuelo:

28/9/75: 6 horas 25 minutos de duración del vuelo.

20/7/82: 6.644 metros de altitud.

18/9/86: 193,6 km/h velocidad en 3 km.

05/8/88: 1.002,8 km de distancia en circuito cerrado.

En mayo de 1999 Bill Clem, con un autogiro con motor de 120 CV con turbocompresor, alcanzó una altitud de 7.450 metros.

12.2.2. El helicóptero

El helicóptero dispone de unas palas de gran diámetro (rotor) que son accionadas por un motor de explosión o de turbina y que varían su ángulo de ataque (paso) y su velocidad (rpm), produciendo una sustentación que mantiene el aparato en vuelo. Dependiendo del paso en cada pala y de las rpm del motor, el helicóptero puede ir hacia adelante, hacia atrás, virar o mantenerse en el aire en vuelo estacionario. Como las palas al girar se apoyan en el aire, el fuselaje gira en sentido contrario debido al par de reacción. Para evitarlo se coloca una pequeña hélice en la cola (rotor de cola) que impulsa el aire en sentido opuesto y permite el vuelo recto.

Los mandos del helicóptero son:

- **Mando de paso colectivo**, que es una palanca situada al lado izquierdo del piloto, que, al accionarse, cambia simultáneamente el ángulo de ataque de las palas (al subir aumenta el paso mientras que al bajar lo disminuye). El mando de gases está situado en el extremo de esta palanca. Cuando el piloto tira de la palanca hacia arriba, aumenta el paso colectivo de las palas con lo que se incrementa la sustentación y la resistencia aerodinámica, y es necesario accionar simultáneamente la empuñadura de los gases para mantener las rpm de las palas. Un controlador llamado *governor* libera al piloto de esta tarea mediante la mayor abertura automática del mando de gases. El *governor* sirve pues para controlar la velocidad del motor y así compensar las variaciones de la velocidad del rotor que se producen durante el vuelo. No obstante, el piloto continúa teniendo mando sobre los gases en la empuñadura.
- **Empuñadura de mando de gases**, que ajusta las rpm y que está situada en el extremo de la palanca de mando del paso colectivo.

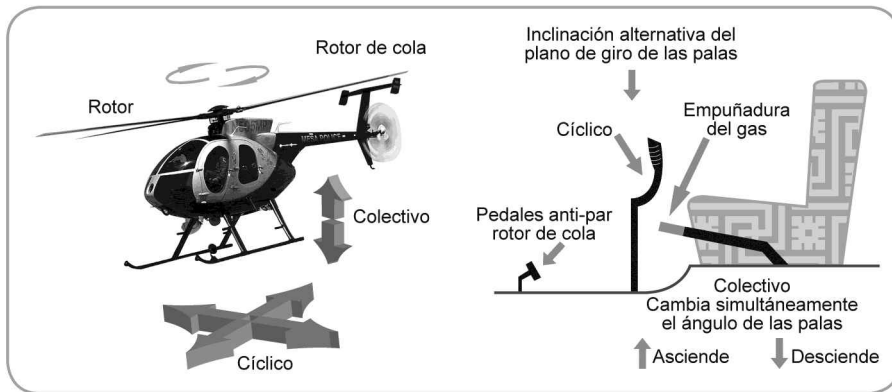


Figura 12.6. *Helicóptero.*

- **Pedales antipar,** que actúan sobre el rotor de cola aumentando o disminuyendo el paso y por lo tanto la tracción, y permiten así el control direccional del helicóptero. Suponiendo que las palas del rotor principal giran en sentido contrario a las agujas del reloj, el helicóptero tendrá tendencia a girar hacia la derecha (visto desde arriba). En vuelo de crucero con los pedales derecho e izquierdo en posición neutra, la tracción del rotor de cola es la justa para que el helicóptero vuele en línea recta. En vuelo estacionario, si el piloto aplica pie derecho, disminuye el paso y por lo tanto la tracción y el aparato giran a la derecha. Al mismo tiempo, al quedar más potencia disponible para el rotor principal, sus r.p.m aumentan y el aparato asciende a menos que el *governor* cierre los gases o que el piloto los reduzca manualmente. Y a la inversa, si el piloto aplica pie izquierdo, aumenta el paso y por lo tanto la tracción y el helicóptero giran ahora a la izquierda. Entonces queda menos potencia disponible para el rotor principal y el helicóptero se hunde, a menos que el *governor* o el piloto abran los gases.
- **Mando de paso cíclico,** que varía alternativamente el paso de las palas de un mínimo a un máximo en cada revolución según la posición de la palanca de control accionada por el piloto. El resultado es una inclinación del plano de giro de las palas hacia la dirección de vuelo deseada. Es decir, si el piloto inclina el mando hacia adelante, la pala del rotor que barre la cola del helicóptero lo hace a mayor ángulo de ataque que la que barre la parte delantera del aparato, con lo que la pala trasera se levanta, mientras que la delantera baja. Así, el disco formado por las palas se inclina hacia adelante y el helicóptero vuela en esa. En el caso de parada del motor, el piloto debe adoptar inmediatamente la configuración de autogiro para que el aparato descienda en autorrotación. Es decir, el piloto debe disminuir inmediatamente el paso de las palas bajando el mando colectivo, con lo que el aparato desciende y el flujo de aire se invierte pasando de abajo hacia arriba. Al mismo tiempo, debido al

menor ángulo de ataque, las palas se han acelerado y aumentado su velocidad de rotación hasta que están girando a velocidad constante en autorrotación. La maniobra se realiza con el motor desembragado del rotor para no ser arrastrado por este.

El diagrama altura-velocidad (también llamado curva de la muerte) indica las actuaciones seguras del helicóptero para pasar a autorrotación en caso de fallo del motor, debiendo el piloto evitar en lo posible el vuelo en las condiciones señaladas por las áreas sombreadas. Por ejemplo, si el helicóptero vuela a 20 nudos y está a 200 pies de altura, una parada de motor requerirá una gran habilidad del piloto para que el vuelo no termine en una catástrofe; en cambio, un vuelo a 70 nudos y a 100 pies de altura será seguro porque el piloto podrá perfectamente pasar a autorrotación, igual que en un vuelo estático a 600 pies de altura.

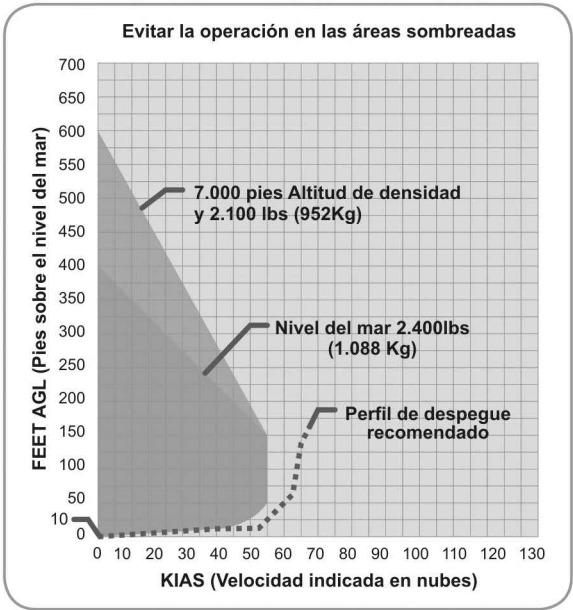


Figura 12.7. Curva hombre muerto en el helicóptero. Fuente: Robinson R-44.

12.3. LOS PLANEADORES

Los planeadores o veleros son aviones sin motor con una gran envergadura de ala, lo que les proporciona una baja velocidad de descenso del orden de 0,6 m/s y un buen coeficiente de planeo de 40, es decir, que a una altura de 1 km pueden planear y llegar a 40 km de distancia.

La habilidad del piloto de planeador reside en buscar corrientes de aire ascensionales que superen su velocidad de descenso. Las encuentra en las laderas de las montañas, debajo de nubes, sobre campos en verano, etc. De este modo, apoyándose en estas

corrientes ascendentes puede recorrer grandes distancias. A veces las aves imitan a los pilotos de veleros, enroscándose conjuntamente con ellos en una ascendencia. El velero es remolcado por un avión mediante un cable que el piloto del velero suelta al llegar a unos 500 metros de altura sobre el terreno, empezando entonces el vuelo real.

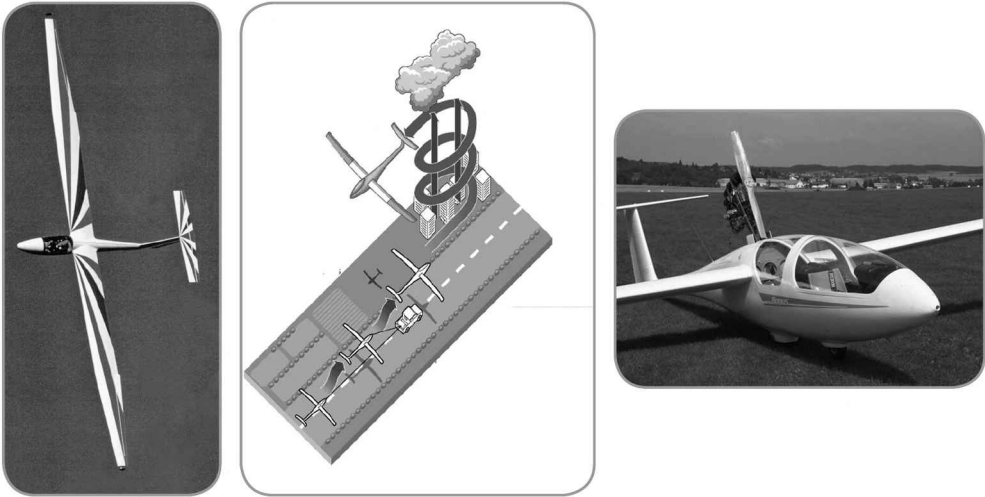


Figura 12.8. *Planeador y motovelero.*

Los motoveleros son planeadores que disponen de un motor con la potencia suficiente para despegar por sus propios medios. En vuelo el piloto puede parar el motor e iniciar el vuelo a vela.

12.4. AVIÓN CON MOTOR COHETE

Dispone de un motor cohete siendo el combustible oxígeno líquido y queroseno o etanol, y con la suficiente potencia puede alcanzar una altitud de 38 millas (61 km), suficiente para hacer un minivaje espacial.



Figura 12.9. *Avión con motor cohete.*

12.5. AVIÓN CON MOTOR ELÉCTRICO ALIMENTADO CON BATERÍAS O CON PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO

Avión de una plaza en experimentación dotado de un motor eléctrico con una autonomía de 1 a 1,5 horas alimentado directamente con baterías o a través de una pila de hidrógeno.

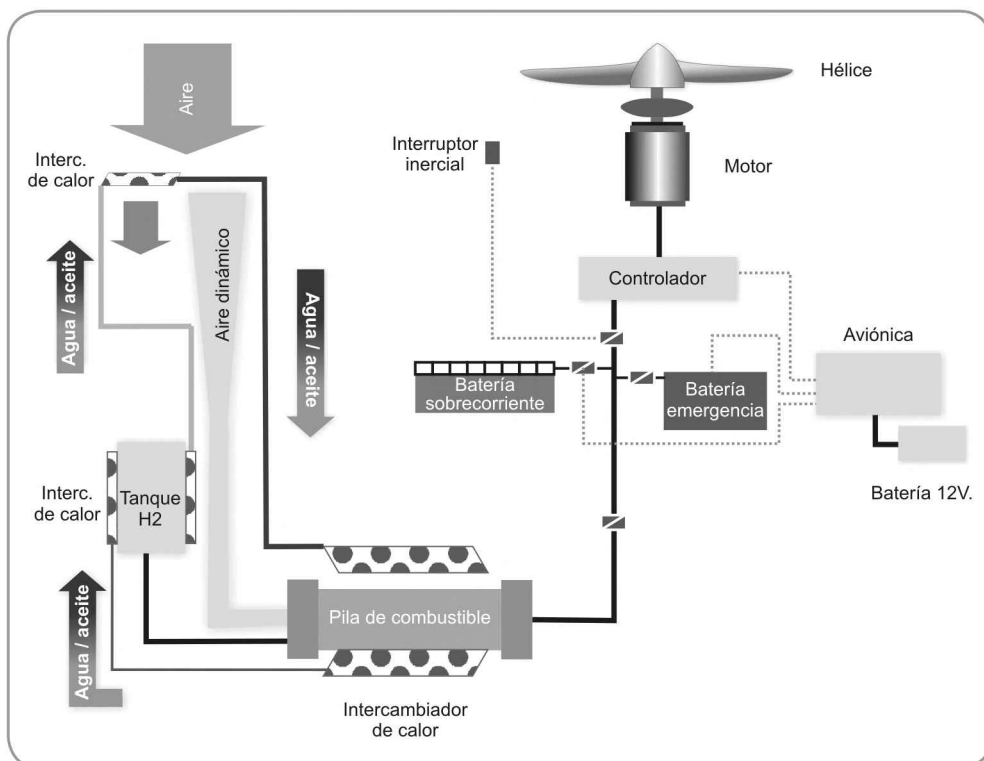


Figura 12.10. Avión con motor eléctrico con baterías o con pila de hidrógeno. Fuente: Electraflyer - Sonex y Boeing.

12.6. AVIONES DE CONSTRUCCIÓN AMATEUR

Las normas sobre la construcción y legalización de aviones de construcción amateur se encuentran en el BOE nº 134 de 5 de junio de 1982. Los criterios de diseño y cer-

tificación están recogidos en A/B/C OM de 14 de noviembre de 1988 y en las normas JAR-VLA, JAR-22, JAR-23, JAR-27 y BCAR Sección T.

Los aviones de construcción amateur no se pueden dedicar a fines lucrativos, solo para vuelos de recreo. Las aeronaves construidas a partir de componentes prefabricados requieren que los trabajos de adaptación de dichos componentes sean la parte más importante del proceso de fabricación, quedando excluidas las aeronaves en las que el trabajo se reduzca solo al montaje.

El aficionado que quiera construir un avión debe enviar a Aviación Civil documentación (planos, características, instrumentos, motor y hélice, nombre del piloto de pruebas), proponer fechas para las inspecciones técnicas y aeródromos para las pruebas en vuelo. Si las inspecciones y los resultados son satisfactorios la aeronave recibe un Certificado de Aeronavegabilidad Restringido.

Uno de los modelos que destaca es el Lancair de cuatro plazas con 350 CV, 300 nudos de crucero y 60 nudos de velocidad de pérdida. El tiempo de construcción es de 1.500 a 2.000 horas. El material de construcción es de fibra de carbono, que es 1/3 más ligera que la fibra de vidrio epóxida, y un 250% más fuerte que el duraluminio. Los límites de carga son +4,3/-2,3.

Otros modelos se ofrecen en forma de kit de construcción amateur, como la legendaria Piper Super Cub, o helicópteros o autogiros de una o dos plazas.

12.7. ULTRALIGEROS

El ultraligero es un avión muy ligero de chasis tubular con alas dotadas de tubos de aleación de aluminio recubiertas de tela o bien de material composite. Puede ser de dos ejes (mandos del timón de dirección y el de altura) o de tres ejes, como un avión (mandos de alabeo, altura y dirección).



Figura 12.11. Ultraligero. Fuente: VolXerpa.

El modelo *pendular* dispone de un ala delta de forma triangular de la que está suspendido el chasis con los asientos y el motor. Esta suspensión es móvil, de tal modo que el piloto, mediante una barra, puede desplazar el c.d.g. del conjunto y gobernar así el aparato.



Figura 12.12. *Ultraligero pendular. Fuente: Air Creation.*

El Real Decreto 2876/1982 de 15 de octubre de 1982 (BOE 277 de 18 de noviembre de 1988) reguló inicialmente el registro y uso de ultraligeros. Los criterios de diseño y certificación fueron recogidos en A/B/C OM de 14 de noviembre de 1988 y en las normas JAR-VLA, JAR-22, JAR-23, JAR-27 y BCAR Sección T.

Posteriormente, la norma JAR/VLA (*Joint Aviation Requirements/Very Light Airplanes*), editada el 26 de abril de 1990, especificaba que el ultraligero debía tener un peso máximo al despegue de 300 kg para un solo asiento y de 450 kg para el doble asiento. La velocidad máxima de pérdida era de 35 nudos (65 km/h) y la máxima carga alar de 25 kg/m².

Los instrumentos mínimos son un anemómetro, un altímetro, un tacómetro del motor, un totalizador de horas no instalado necesariamente a la vista del piloto y un indicador del nivel de combustible, a no ser que el piloto vea directamente el nivel a través del depósito transparente.

El Real Decreto 1591/1999 de 15 de octubre de 1999 (BOE nº 254 de 23 de octubre de 1999) establece las siguientes características que deben cumplir los ultraligeros:

Categoría A: aviones terrestres, acuáticos o anfibios.

Categoría B: giroaviones terrestres, acuáticos o anfibios.

- Velocidad de pérdida < 65 km/h.
- Masa máxima autorizada al despegue no debe ser superior a:
 - Aviones y giroaviones terrestres monoplazas: 300 kg
 - Aviones y giroaviones terrestres biplazas: 450 kg
 - Hidroaviones o anfibios o giroaviones: acuáticos o anfibios monoplazas: 330 kg
 - Hidroaviones o anfibios o giroaviones acuáticos o anfibios biplazas: 495 kg

El propietario del ultraligero es totalmente responsable del mantenimiento y conservación del aparato (las avionetas, por ley, deben mantenerse en talleres autorizados por Aviación Civil).

Los paracaídas balísticos tienen un dispositivo mecánico accionado por aire comprimido o un gas (cohete) que despliega rápidamente el paracaídas.

No se consideran ultraligeros los planeadores, los aeróstatos, ni las aeronaves que precisen del esfuerzo físico de cualquier ocupante, tales como las alas delta, los paracaídas motorizados, los aeróstatos con barquillas motorizadas, etc.

Con la llegada de los nuevos materiales, aparece la tercera generación de ultraligeros, realizados en composites y fibras de carbono, con prestaciones similares a las avionetas ligeras en autonomía (hasta 1.200 km), velocidad de crucero (sobre los 200 km/h) y techo de servicio (4.500 m).

Cabe señalar que hay una permanente innovación en el diseño de ultraligeros, con modelos que merece la pena citar:

El Zenair CH701 STOL, introducido en 1986, se caracteriza por aterrizajes y despegues cortos utilizando 37 m (120 pies) en campos no preparados y 28 m (90 pies) en campos preparados en condiciones de carga máxima. Los flaperones (flaps + alerones) le proporcionan una muy baja velocidad de aterrizaje y los slats fijos en el borde ataque del ala le permiten una trepada impresionante (30° de ángulo de subida).

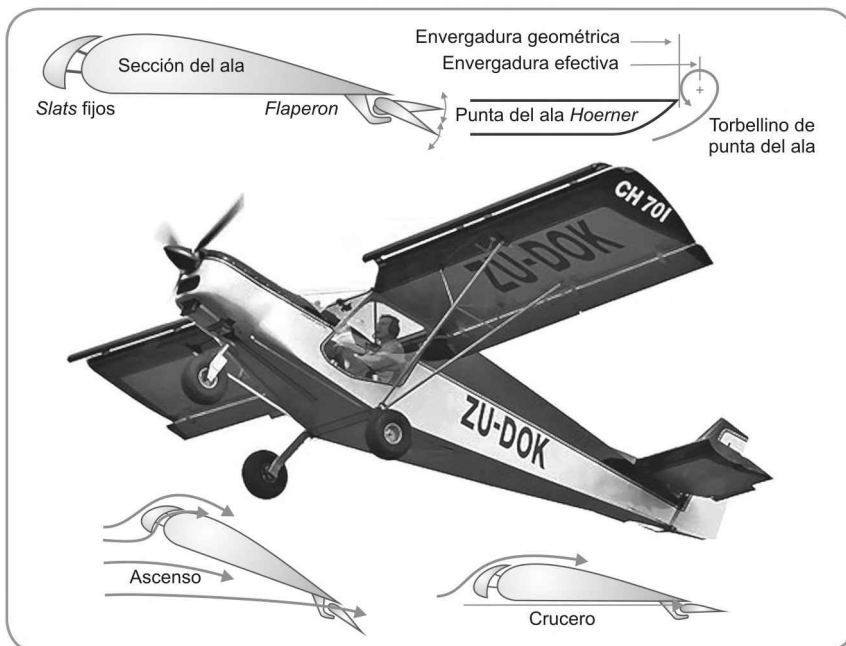


Figura 12.13. Zenair CH701 STOL. Fuente: Zenair.

El ala Ri&Flex (flexible) (LISA Airplanes) asocia un ala rígida en carbono con flaps flexibles de material textil resistente al desgarre y al ambiente salino, que, totalmente extendidos, aumentan la superficie del ala en un 70% y permiten el despegue en menos de 100 metros. El diseño de este ultraligero permite, con la ayuda de hidrofoils, el amerizaje en el agua, y el aterrizaje en tierra o en la nieve con tren y esquíes replegables, todo ello a voluntad del piloto mientras está volando. El ala es pivotante, para facilitar el hangar o el transporte en una embarcación. Su coeficiente de planeo es de 1:20.

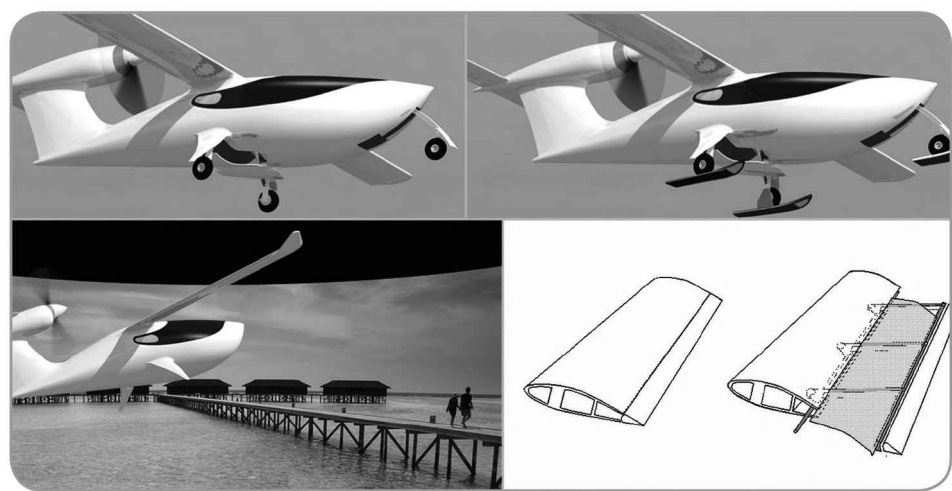


Figura 12.14. *Ultraligero con ala rígida y flaps flexibles útil en amerizajes y aterrizajes en tierra o nieve. Fuente: VolXerpa.*

Este ultraligero también contempla el futuro de la propulsión eléctrica en el campo de la energía solar y de la pila de combustible en la aeronave Spirit of Savoy, con el objetivo de realizar el vuelo Chambéry-Nueva York.

Tabla 12.1. *Prestaciones de ultraligeros típicos.*

Ultraligero	Motor (CV)	Envergadura (m.)	Longitud (m)	Superficie alar (m²)	Peso máx (kg)	Depósito gasolina (l)	Autonomía (km)	Vpérdida (km/h)	Vmáx (km/h)
Sting TL-2000	80	8,44	5,93	9,8	450	69	740	65	280
ESQUAL	80	9,1	6,08	9,2	450	75	700	64	270
TECNAM P-92 ECHO	80	9,3	6,3	13,2	450	70	750	61	250
PULSAR II	65	9,2	6,6	14,75	450	60	700	55	165
Zenair CH701 STOL	80	8,2	6,38	11,4	450	76	600	52	160
Quick Silver	64	9,5	5,5	16,17	450	25	250	65	120

12.8. ALA DELTA

El ala delta está formada por tubos revestidos de tela y un triángulo de soporte para el piloto. Este gobierna el ala delta, moviendo su cuerpo hacia adelante o atrás, apoyándose en una barra, para modificar la posición del c.d.g., y así picar, encabritar y virar el aparato.



Figura 12.15. *Ala delta.*

12.9. PARAPENTE

El parapente es una vela provista de cajones que es hinchada por el piloto tirando de los cordones de las suspensiones, formando un ala de unos 20-30 m², de 8-9 m de envergadura, con borde de ataque y celdas. Una vez hinchada, el piloto corre por el terreno en bajada hasta despegar, volando a una velocidad máxima de 45 km/h. El gobierno del parapente se efectúa por plegada lateral de la vela. El lanzamiento suele hacerse desde lo alto de una montaña. La tasa de caída es de unos 1,4 a 1,7 m/s, por lo que el piloto debe encontrar buenas térmicas o ascendencias en la ladera de la montaña o debajo de un cúmulo, para no terminar demasiado pronto el vuelo.

El parapente motorizado dispone de un motor, que va atado con la mochila del parapente a la espalda del piloto, con la potencia suficiente para elevarse en terreno plano y así independizarse del lanzamiento desde lo alto de la montaña.



Figura 12.16. *Parapente motorizado. Fuente: Ojo Volador (costa de Portugal).*

12.10. COHETES Y NAVES ESPACIALES

Fuera de la atmósfera terrestre, las leyes físicas que rigen el movimiento de los cuerpos son diferentes a las estudiadas en aviación. De aquí que el hombre ha tenido que desarrollar el motor cohete para conseguir llevar una carga al espacio exterior.

El motor cohete se basa en el principio de física de acción y reacción, es decir, lanza hacia atrás un volumen de gases quemados a una velocidad alta, lo que propulsa el aparato hacia adelante. El motor debe llevar un combustible que suele ser hidrógeno y un comburente que es oxígeno líquido. La cantidad de movimiento comunicada por los gases que salen con poca masa pero a una gran velocidad es de:

$$\text{Masa gas} \times \text{velocidad gas} = \text{masa carga (cohete + carga)} \times \text{velocidad carga}$$

A medida que el cohete y la carga transportada se van acelerando, la ecuación cambia, en el sentido de que el peso de la carga disminuye por gastarse gradualmente el combustible.

Un cuerpo, para mantenerse en una órbita circular alrededor de la Tierra, debe igualar su peso, es decir, la atracción que la Tierra ejerce sobre él, con la fuerza centrífuga que tiende a separarlo de la Tierra.

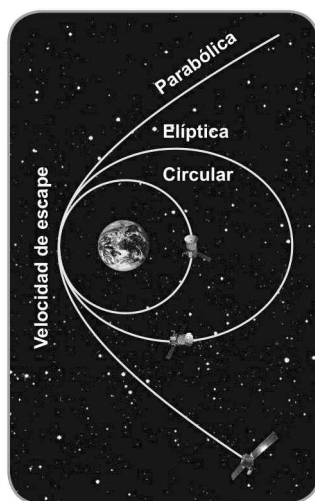


Figura 12.17. Tipos de órbitas.

$$\text{Peso} = m \cdot g \cdot \frac{R^2}{(R + h)^2} = \text{Fuerza centrífuga} = m \cdot \frac{V^2}{R + h}$$

y de aquí:

$$V = R \cdot \sqrt{\frac{g}{R + h}}$$

Las órbitas normales se efectúan a una altitud de unos 220 km. Así la velocidad orbital es de:

$$V = 6.367 * \sqrt{\frac{0,00981}{6.367 + 220}} = 7,77 \text{ km/seg}$$

Con una menor velocidad el móvil vuelve a la superficie de la Tierra, en cuyo caso el proyectil describe una trayectoria balística, tal como fue el primer lanzamiento espacial de Alan B. Shepard el 5 de mayo de 1961.

Para abandonar la órbita terrestre, prescindiendo de la resistencia del aire, la energía potencial del cohete debe ser igual a su energía cinética.

$$\frac{1}{2} * m * V^2 = m * g * R$$

$$V = \sqrt{2 * g * R} = \sqrt{2 * 0,00981 * 6.367} = 11,181 \text{ km/seg}$$

Luego si la velocidad del cohete está comprendida entre los 7,77 km/seg y los 11,181 km/seg, describirá una trayectoria elíptica, mientras que si supera los 11,181 km/seg abandonará la Tierra.

Para cambiar de órbita a voluntad, el astronauta debe situar el cohete en órbita y después, mediante microcohetes, proporcionarle la energía necesaria. Algunas órbitas son *geoestacionarias*, es decir, el satélite viaja a la misma velocidad de rotación de la Tierra y se encuentra por lo tanto en la misma zona terrestre. Así son los satélites de comunicaciones (a unos 36.000 km de altura), los de señales del sistema de navegación GPS (*Global Positioning System*) (a unos 20.000 km de altura), los de prospección de los recursos de la Tierra y los meteorológicos como el Meteosat.

Para economizar combustible, los cohetes se dividen en varias fases que se van desprendiendo a medida que el carburante que contienen se va agotando y al final queda la última fase, que es el propio satélite, o nave espacial, en la órbita deseada.

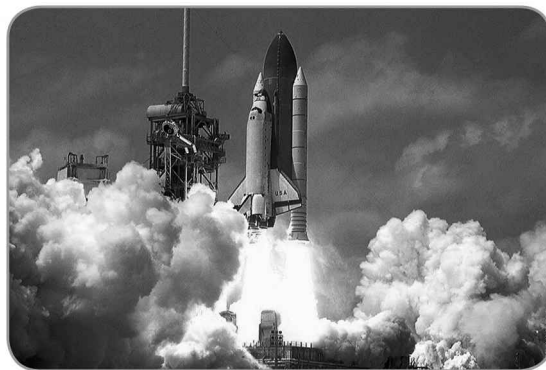


Figura 12.18. Cohetes espaciales.



La *nave espacial*, con los astronautas en su interior, puede evolucionar, efectuar reparaciones en otros satélites, poner en órbita estaciones y puede regresar a la Tierra por sus propios medios y aterrizar gracias a sus alas.

La exploración del espacio se realiza con la colaboración de varios países. Fue un gran acontecimiento el llamado «apretón de manos en órbita» que en el mes de julio de 1975 se dieron a la altura de 225 km las tripulaciones de dos naves espaciales, una americana (Apollo) y la otra soviética (Soyuz). El encuentro confirmó las posibilidades de la colaboración internacional en la exploración del espacio. Esta colaboración ha continuado en la nave espacial Mir y el montaje de la estación espacial internacional permanente ISS (*International Space Station*).

Historia de la aviación

13

13.1. LOS ORÍGENES

El primer personaje conocido que inició estudios sobre el vuelo de las aves fue Leonardo da Vinci (1452-1519).

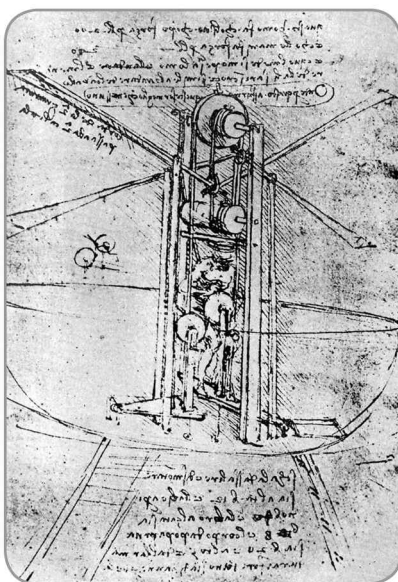


Figura 13.1. Máquina voladora de Leonardo da Vinci.

El 14 de marzo de 1505 descubrió que las aves despegaban de cara al viento. Diseñó máquinas voladoras, y determinó sus c.d.g. y de presión. Le faltó el valor y el arrojo para lanzarse al aire con sus máquinas.

En junio de 1783 los hermanos Montgolfier inventaron el globo de aire caliente (aeróstato).

Al globo le sucedió el dirigible, el avión de alas batientes y el helicóptero a vapor.

Sir George Cayley (1773-1857) publicó el trabajo *On aerial navigation*. Construyó un aeródromo que era una instalación formada por una viga vertical sobre la que giraba una horizontal, y que fue ideada para averiguar la sustentación y resistencia de planos que estaban suspendidos en los extremos. El aeródromo se utilizaba también para lanzar un avión; se hacía girar y se soltaba en el momento preciso contra el viento (lo usaba el capitán de artillería francés Ferber). Llegó a construir un planeador de 30 m, proyectando más adelante, hacia 1840, un helicóptero y un dirigible que nunca se convirtieron en realidad.

En 1843 William Henson proyectó una máquina aérea de 45 m de envergadura a la que siguieron después modelos reducidos. Su amigo Stringfellow construyó en 1848 el primer modelo de 3 m de envergadura de ala, de 4 kg de peso, propulsado por una máquina de vapor, que consiguió volar en un local cerrado una distancia de 40 m.

En 1871 Alphonse Pénaud construye el primer modelo de aeroplano impulsado por gomas retorcidas al que llamó *pianóforo*.

En 1897 Clement Ader se eleva con un aeroplano de madera llamado «murciélago» que estaba recubierto de seda y movido por un motor de vapor de 20 H.P. Voló unos 70 m a ras del suelo, pero se estrelló al caer. Fue el hombre que dió origen a la palabra avión.

Otto Lilienthal (1848-1896) fue el padre de la aviación. Estudió el vuelo de los pájaros y realizó numerosos vuelos con un pequeño planeador, al que gobernaba cambiando la posición de su cuerpo para desplazar el c.d.g. Ideó la curva polar del ala, cuya curvatura estudió a fondo.

Fue tan apasionado del vuelo que mandó construir una pequeña colina para poder lanzarse en cualquier dirección. En un domingo del mes de agosto de 1896 su planeador se estrelló desde 15 m de altura, y murió como consecuencia del accidente.

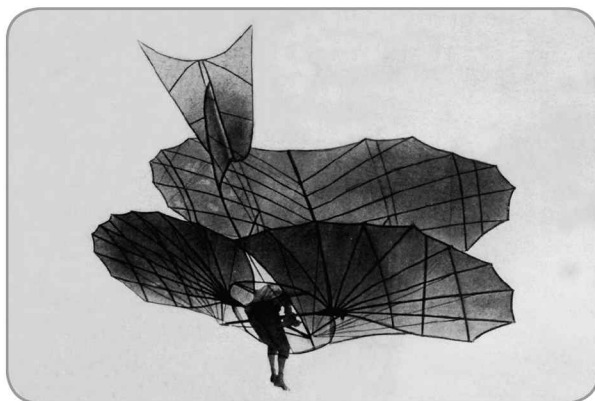


Figura 13.2. Vuelo de Otto Lilienthal.

13.2. LOS PIONEROS PRÁCTICOS

Los hermanos Wright (Wilbur, 1867-1912, y Orville, 1871-1948) fueron los primeros que realizaron un vuelo continuado. Inventaron el sistema de alabeo de las alas, o tercer mando del avión. Por medio de una palanca y un tirante alzaban y bajaban las zonas extremas y posteriores de las alas, cambiando su sustentación. Realizaron innumerables vuelos en planeadores.

En la colina Kill Devil Hill, en Kitty Hawk, en Carolina del Norte (Estados Unidos) y en la fecha del 17 de diciembre de 1903, Orville Wright, con su avión dotado de un motor de gasolina de 12 H.P. de 110 kg de peso, en su primer intento, voló durante 12 segundos contra un viento de 27 millas/hora (48 km/h), mientras que en el cuarto intento, recorrió una distancia de 852 pies (255 metros) en 59 segundos.

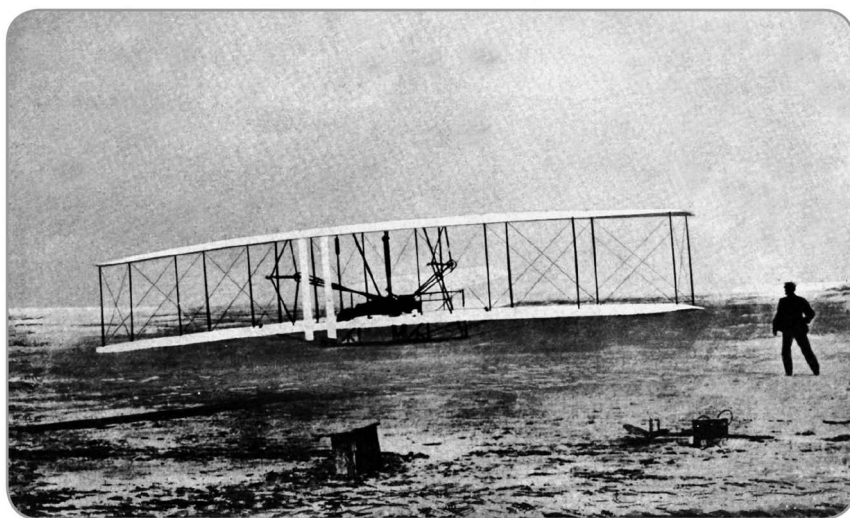


Figura 13.3. *Vuelo de Orville Wright en Kitty Hawk.*

El 23 de octubre de 1906, Santos Dumond (1873-1932) realizó en Europa un vuelo de 60 a 70 metros de recorrido, con un aeroplano en forma de cajón dotado de un motor de 50 CV. Un mes después efectuó un vuelo de 220 metros.

El 30 de septiembre de 1907 Henry Farman vuela en Francia una distancia de 60 metros. El 26 de octubre del mismo año vuela 771 metros en los que emplea 53 segundos.

La primera escuela de pilotos del mundo fue creada por Wilbur Wright en 1907, en Mans (Francia).

La primera travesía marítima fue efectuada por Louis Bleriot el 25 de julio de 1909. Cruzó el Canal de la Mancha desde Calais (Francia) a Dover (Inglaterra), cubriendo unos 38 km volando sobre el agua.

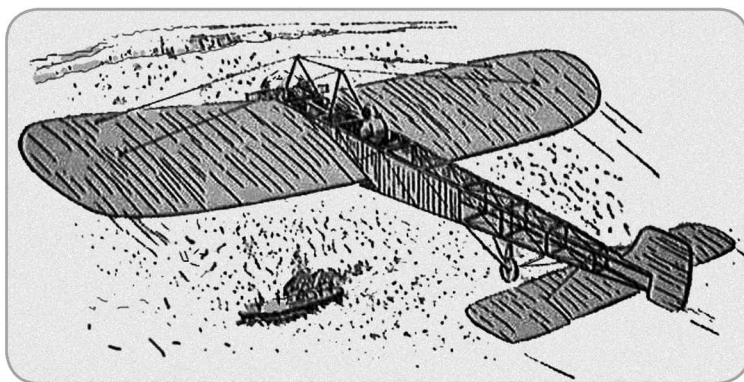


Figura 13.4. *Aeroplano de Louis Bleriot.*

En 1913 empieza a desarrollarse el vuelo de noche con ayudas tales como los faros y balizas aeronáuticos y a practicarse el paracaidismo. Nace la acrobacia aérea de la mano del piloto francés Pégoud, quien salta en paracaídas de su avión Blériot y, ya en el suelo, observa cómo el avión evoluciona trazando figuras acrobáticas. Esto le movió más adelante a ensayar las mismas figuras pilotando otro avión.

El francés Roland Garros atraviesa el Mediterráneo en 1913, en un avión Morane Saulnier de 60 CV, empleando 8 horas en recorrer una distancia de 800 km desde San Rafael a Bizerta.

En 1914 Glenn Curtiss fabrica el Jenny, que fue uno de los aviones más famosos de la época (Charles Lindbergh aprendió a volar en él).

La primera guerra mundial contribuye al desarrollo de la aviación. El 29 de septiembre de 1913, con ocasión de la copa Gordon-Bennett, Maurice Prévost alcanza los 203,850 km/h, mientras que terminada la guerra, el 7 de febrero de 1920, disputando la misma copa, Sadi Lecoq llega a los 271,862 km/h.

Se inauguran líneas postales, y en 1919 Georges Latécoère crea una línea entre Toulouse y Casablanca, mientras que Boeing lo hace en la costa del océano Pacífico.

El 28 de agosto de 1919 nace la IATA (*International Air Traffic Association*) como organismo para reglamentar las operaciones de las nuevas compañías aéreas.

En mayo de 1922, el hidroavión Navy-Curtiss NC-4, junto con dos aparatos más que no terminaron la travesía, atraviesa el océano Atlántico desde Nueva York a Plymouth (Inglaterra).

El Atlántico Norte es cruzado por Charles Lindbergh (1902-1974) en mayo de 1927 con un avión Ryan de ala alta y motor Wright Whirlwind de 225 CV de potencia, bautizado Spirit of Saint-Louis, en honor de los banqueros de la ciudad de Saint-Louis que le apoyaron.

Fue un vuelo memorable en condiciones marginales de viento, lluvia, nubes con engelamiento y niebla, con el piloto solo a bordo volando durante 33 horas 30 minutos una distancia de 3.600 millas (6.300 km), despegando de Nueva York el 20 de mayo de 1927 a las 6:52 a.m. y aterrizando en el aeropuerto de Le Bourget próximo a París a las 10 de la noche del día siguiente ante 100.000 espectadores.



Figura 13.5. *Spirit of Saint Louis.*

Este histórico vuelo despejó todas las incógnitas que existían entonces sobre el desarrollo de la aviación y contribuyó a la continuación de los vuelos de larga distancia y al nacimiento y crecimiento de las compañías aéreas.

El verdadero impulsor de los *dirigibles* fue el conde Ferdinand Von Zeppelin quien inventó el dirigible rígido metálico en 1900. La primera aplicación práctica para el transporte en masa se efectuó en el año 1928 con el Graf Zeppelin de 105.000 m³ de capacidad, de 236 m de largo, 30 m de diámetro y 8 Tm de carga útil, dotado de cinco motores de 530 CV, y que empleaba de 70 a 100 horas en la travesía de Berlín a Nueva York.

En el año 1929 el Graf Zeppelin efectuó la vuelta al mundo y entre los años 1928-35 realizó más de 600 viajes, con un recorrido total de 1.350.000 km, transportando más de 12.000 pasajeros. Gracias a estos éxitos se construyó el gigantesco Hindenburg de 190.000 m³, con una autonomía de 14.000 km a la velocidad de 125 km/h y capaz de transportar 20 Tm de carga útil. Este dirigible se incendió el 6 de mayo de 1937 al aterrizar en Lakehurst (Estados Unidos), muriendo 34 pasajeros. La tragedia marcó

el fin de los grandes dirigibles. Actualmente el dirigible es utilizado como aeronave militar de vigilancia o en usos civiles de propaganda, y emplea helio, que es un gas inerte no combustible.

Charles Lindbergh asesoró a la Douglas en la construcción del avión DC-1, que voló en marzo de 1933. Tenía dos motores de una potencia tal que con uno solo era capaz de despegar y remontar el vuelo. En 1934 apareció el DC-2, y a finales de 1935 voló por primera vez el DC-3, un avión magnífico del que se fabricaron muchas unidades. En la misma época aparece el Junkers Ju52 de tres motores, con menos prestaciones que el DC-3, pero muy duro y fiable.

Amelia Earhart fue la primera aviadora que atravesó el océano Atlántico en un vuelo sin escalas. Fue una de las fundadoras de la asociación Ninety-Nines (99's) con miles de socios, creada en 1929 por 99 miembros fundadores y formada exclusivamente por mujeres piloto. En julio de 1937 desapareció en un vuelo sobre el océano Pacífico, con un avión bimotor Lockheed Electra, en la primera etapa de su vuelo hacia la isla de Howland.



Figura 13.6. *Amelia Earhart.*

13.3. LOS AVIONES DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

La segunda guerra mundial aceleró todavía más el progreso de la aviación, participando varios tipos de aviones:

- El avión de caza Messerschmitt BF 109 E con motor de 950 CV que, habiendo establecido un récord de 611 km/h el 11 de noviembre de 1937, alcanzó al final de la guerra los 727 km/h a la altitud de 12.500 metros.
- El bombardero en picado Junkers Ju 87 Stuka, que podía transportar 500 kg de bombas a 380 km/h, siendo capaz de efectuar bombardeos con una gran precisión.
- El avión de caza Spitfire Mk I, con motor Rolls-Royce Merlin de 1.030 CV, que volaba a 571 km/h a 5.800 m. de altitud, alcanzando al final de la guerra los 721 km/h a 13.560 metros.
- El bombardero B17 (fortaleza volante), con 4 motores de 1.000 CV, con capacidad de carga de bombas de 2.700 kg, pero que por imperativo del largo vuelo de Inglaterra a Alemania transportaba solo 2.300 kg.
- El avión a reacción Gloster Whittle E28, que voló por primera vez el 15 de mayo de 1941 y que el 7 de noviembre de 1945 estableció con el modelo Gloster Meteor el récord mundial de velocidad en 975,675 km/h.
- El primer caza a reacción fue el Me 163 Komet, que voló por primera vez el 18 de julio de 1942. Ideado para contrarrestar los bombardeos a gran altura de las fortalezas volantes, era capaz de alcanzar los 9.900 m (30.000 pies) en 2,5 minutos y tener todavía una autonomía de 7 minutos. A esta altura su velocidad máxima era de 596 mph (1.072 km/h). Su techo máximo era de 16.360 m (54.000 pies).

Después de la segunda guerra mundial, continuó el perfeccionamiento de la aviación gracias a que las grandes potencias, debido a la guerra fría, dedicaron grandes sumas de dinero a la investigación. Aparecieron los aviones de caza supersónicos, los aviones de transporte a reacción, los helicópteros y los cohetes y naves espaciales.

13.4. LOS LOGROS ESPECTACULARES

El primer piloto que atravesó la barrera del sonido fue Chuck Yeager el 14 de octubre de 1947 en el avión Bell XI (Glamorous Glennis) a 42.000 pies (12.800 metros) de altura alcanzando la velocidad de 670 millas/hora (1.078 km/h). El peso del avión con el motor cohete era de 13.069 libras (5.928 kg). El motor cohete XLR11 quemaba alcohol con oxígeno líquido proporcionando un empuje total de 6.000 libras (2.722 kg). Para ahorrar combustible, el avión se lanzaba desde un B-29.

El primer avión de transporte a reacción fue el Comet de Havilland que voló por primera vez el 27 de julio de 1949 de forma impresionante. Se trataba de un avión con los motores embutidos en las alas, aerodinámicamente limpio, que asombraba a todo el mundo por sus prestaciones. Pero más adelante empezó a tener una serie de fallos, y entre 1953 y principios de 1954, se perdieron cuatro aviones, con la muerte de los pasajeros y los tripulantes. Se investigó sobre un fuselaje del Comet sumergido en

una enorme piscina para simular las compresiones y descompresiones de la cabina de pasajeros. En el vuelo simulado número 1.830, el fuselaje se resquebrajó, siendo el diagnóstico «fatiga del metal ocasionada por las variaciones de presión en la presurización de la cabina». Estos ensayos permitieron dictar normas de construcción que se aplicaron a todos los aviones a reacción.



Figura 13.7. *Bell XI.*

La carrera de lanzamiento de los aviones de reacción continuó con el Tupolev 104 de los rusos y el Boeing 707 de los americanos. Este último voló por primera vez el 15 de julio de 1954 transportando 150 pasajeros a la velocidad de 850 km/h. El modelo siguiente fue el Boeing B747 (Jumbo), de 330 toneladas, y el trireactor B737, de 130 pasajeros.



Figura 13.8. *Boeing 747.*

El Caravelle fue el primer reactor para distancias cortas y medias con los dos reactores montados en la cola. Su capacidad de planeo era fantástica siendo capaz de volar

planeando, sin potencia en los motores, desde Londres a 39.000 pies de altura hasta París, sin dar más motor. Fue fabricado en Toulouse por Aerospatiale.

El primer avión de transporte supersónico fue el Concorde, fabricado por la asociación franco-británica, que voló por vez primera a Mach 2 en noviembre de 1970. Realizó su primer vuelo comercial simultáneamente con British Airways (Londres - Bahrain) y Air France (París-Río vía Dakar) el 21 de enero de 1976. Tenía una capacidad de 98 pasajeros.



Figura 13.9. *Concorde.*

Los avances tecnológicos han llevado a la aparición de la llamada *cabina de cristal* (*glass cockpit*), que presenta los datos de vuelo en unas pocas pantallas, y en la que se han sustituido las clásicas palancas o cuernos de mando por un stick lateral, y que ha aplicado la filosofía *fly-by-wire*, es decir, la incorporación de señales eléctricas entre el piloto y los controles de vuelo, para conseguir, entre otras ventajas, una autoestabilización en los tres ejes, la protección contra ángulos de ataque elevados, la compensación mediante los alerones de la desigual distribución de combustible en las alas, etc. Esto permite optimizar la explotación de la aeronave, e impedir que el piloto pueda causar una pérdida de control del avión. Estos avances, conjuntamente con la mejora de los materiales composites (más resistentes y más ligeros), han traído consigo un bajo coste de explotación, objetivo perseguido por las compañías aéreas.

La familia de aviones Airbus (A300, A310, Airbus Blusa, A320, A321, A330, A340, A380), contruidos por el *consorcio europeo Airbus* formado por las compañías Aerospatiale (Francia), British Aerospace (Inglaterra), Deutsche Airbus (Alemania) y CASA (España), incorpora dichos avances. El último modelo A380 obtuvo el certificado de tipo el 12 de diciembre de 2006 y tiene capacidad para 555 pasajeros en su versión estándar y 850 en configuración turista.



Figura 13.10. *Airbus A-380.*

13.5. LOS AUTOGIROS Y HELICÓPTEROS

El *autogiro* nació en los años 20 inventado por Juan de la Cierva (1895-1936), quien tenía el propósito de construir un avión que no entrara en pérdida. Se le ocurrió la idea de utilizar unas alas giratorias (rotor) que tuvieran cierta flexibilidad y que giraran por la acción del viento de la marcha que las atravesaba de abajo arriba. Los primeros modelos tenían las palas demasiado rígidas y volcaban.

Las articulaciones de batimiento que creó en 1922 contribuyeron al éxito del autogiro Cierva C.4. Las prestaciones máximas se obtuvieron con el Cierva C.30 que alcanzó las 110 mph (176 km/h).



Figura 13.11. *Autogiro De La Cierva.*

Los helicópteros nacieron en 1890 como idea de Leonardo da Vinci. El primer rotor de cola para compensar el par de torsión apareció en 1874 de la mano de Achenbach (Alemania). El primer helicóptero desarrollado con paso cíclico es el de Ellehammer (Dinamarca) en 1912. En 1924, Pescara (Italia) construye un helicóptero que vuela 736 metros disponiendo de control de paso cíclico y colectivo (fue uno de los primeros en comprender la autorrotación).

Las articulaciones de batimiento de las palas del autogiro creadas por Juan de la Cierva en 1922 mejoraron el diseño de los helicópteros. En 1933 vuela el helicóptero de Bréguet-Dorand con control de paso cíclico y colectivo (dos hélices de giros contrarios de 10 m de diámetro y un motor de 300 CV).

En 1937 aparece el primer helicóptero práctico, el FW61 de Henri Focke, formado por dos hélices de tres palas soportadas en voladizos al lado del fuselaje. Batió todas las marcas, 122 km/h, 2.500 m de altura, 226 km en línea recta. En el caso de parada de motor pasaba en dos segundos a configuración de autogiro, descendiendo en autorrotación.



Figura 13.12. *Helicóptero FW61 de Henri Focke.*

En 1939 Igor Sikorski vuela su VS 300, que fue el primer helicóptero con rotor principal y rotor de cola. En 1941 el Flettner 282 (Kolibri) dispone de control automático de las rpm del motor y el cambio automático a autorrotación en caso de fallo de motor. En 1943 vuela el primer helicóptero Bell (Estados Unidos). A partir de 1946, y sobre todo a causa de la guerra de Corea, la evolución de los *helicópteros* ha sido espectacular. Es el medio de transporte ideal para pequeñas distancias, para el transporte de materiales en lugares difíciles, se utiliza en la evacuación sanitaria, etc. Es el único aparato que puede permanecer inmóvil en el aire y no precisa de toda la infraestructura requerida por los aviones.

13.6. EL ESPACIO

La evolución en el *espacio* ha sido enorme. El primer precursor fue Konstantin E. Tsiolkovski (1857-1935), que sentó las bases de la exploración espacial mediante cohetes, con su libro *Exploración del espacio interplanetario mediante aparatos a reacción*.

En 1909 el doctor Robert H. Goddard (1882-1945) demostró la posibilidad de que los cohetes funcionaran en el vacío y en 1926 lanzó en Auburn (Massachusetts) el primer cohete de combustible líquido.

Hermann Oberth, Johannes Winkler, Max Valier, Klaus Riedl, Wernher von Braun y otros científicos fundaron la Sociedad para la Navegación Espacial.

El 25 de noviembre de 1933 se lanzó el GIRD X, primer cohete soviético de combustible líquido.

El americano Goddard consiguió en marzo de 1935 el lanzamiento de un cohete que alcanzó una altitud de 4.800 pies (1.463 m) y recorrió 13.000 pies (3.962 m) a la velocidad de 885 km/h.

Con la llegada de Hitler al poder, se creó un gran centro de experimentación en Peenemunde, en la costa alemana del Báltico. Allí Von Braun, junto con su equipo, consiguió en el otoño de 1939 (comienzo de la segunda guerra mundial) el primer vuelo con control giroscópico.

Los soviéticos realizaron en 1940 el primer vuelo tripulado con un planeador RP-318-1 dotado de motor cohete.

Al terminar la segunda guerra mundial, en 1945, los alemanes habían proyectado un cohete el A-9 (sucesor del A-4) que podía transportar un piloto a 650 km de distancia en 17 minutos, y que con propulsores adecuados hubiera sido capaz de situarse en una órbita permanente alrededor de la Tierra.

Terminada la guerra, los americanos y los soviéticos desarrollaron los cohetes A-4 alemanes, que fueron empleados en la exploración de la alta atmósfera y en las observaciones meteorológicas.

El 25 de junio de 1954 nació el proyecto Orbiter norteamericano y el 9 de septiembre de 1955 lo hizo el proyecto Vanguard, ideado para situar un satélite científico de 9,7 kg en una órbita de 302 km de perigeo.

El 4 de octubre de 1957 los soviéticos sorprendieron al mundo lanzando el satélite Sputnik 1 de 83 kg en una órbita de 227 x 941 km. El 3 de noviembre de 1957 lanzaron a la perra Laika para obtener información básica sobre los efectos biológicos del vuelo orbital, transmitiendo los datos por telemetría.

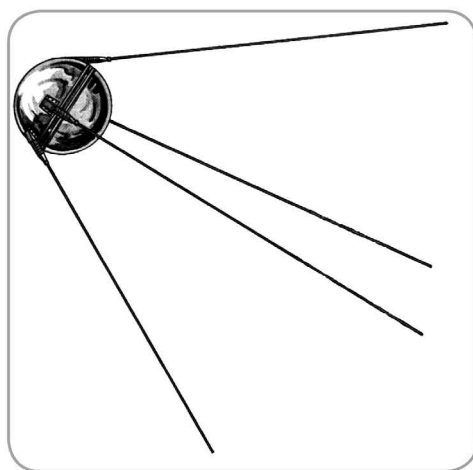


Figura 13.13. *Sputnik 1.*

El 31 de enero de 1958 los americanos lanzaron el Explorer 1, que reveló la presencia del cinturón de radioactividad de Van Allen. Se lanzaron las sondas Vanguard 1 y Vanguard 3 en marzo de 1958 y en septiembre de 1959 respectivamente.

En el año 1958 se constituyó el Comité del Espacio de las Naciones Unidas, que estableció que el espacio pertenece a todos los países, prohibió la utilización de armas nucleares y consideró a los astronautas como ciudadanos del mundo, independientemente del país de procedencia.

El 2 de enero de 1959 los soviéticos lanzaron al espacio la sonda Luna 1 que pasó a 6.000 km de la Luna. El 12 de septiembre de 1959 fue lanzada la sonda Luna 2 que se estrelló en nuestro satélite. La Luna 3 partió el 4 de octubre de 1959 para circunvolar la Luna a una distancia de 4.900 millas (7.884 km) durante cuarenta minutos y retornar a la Tierra.

El primer hombre lanzado al espacio fue Yuri A. Gagarin el 12 de abril de 1961, orbitando la tierra en 89 minutos y retornando al cabo de 108 minutos.

Este hecho impulsó a los americanos a la conquista del espacio, gracias a los fondos que el vicepresidente Lyndon B. Johnson pudo conseguir del Senado al declarar que «Inglaterra ha sido una potencia mundial gracias a sus navíos, los americanos gracias a sus aviones, y quien colonice el espacio, dominará el mundo. No deseo dormir bajo una luna comunista».

El 5 de mayo de 1961, los americanos lanzaron al espacio a Alan Shepard, quien no orbitó la Tierra sino más bien realizó un vuelo balístico alcanzando una altura de 186 km. El presidente Kennedy pidió más fondos al Congreso y la exploración americana del espacio se intensificó consiguiendo el 20 de febrero de 1962 el lanzamiento de John Glenn, quien dio tres vueltas y media a la Tierra, desde la cápsula Mercury 6.

El 16 de junio de 1963 voló la primera mujer, Valentina Tereshkova, que permaneció en el espacio durante 70 horas y 50 minutos. Después se casó con el cosmonauta Nikoláiev y dio a luz a una niña, Yelena, que fue el primer ser humano cuyos padres habían estado en el espacio.

Los vuelos soviéticos se reanudaron al cabo de un año, el 12 de octubre de 1964, con el Vosjod1, llevando tres tripulantes, uno de ellos médico, que permanecieron 24 horas y 17 minutos en el espacio, completando 16 órbitas. La Vosjod2, tripulada por dos cosmonautas, Pável I. Beliáiev y Aléxei A. Leónov, fue lanzada al espacio el 18 de marzo de 1965, siendo Leónov el primer hombre que salió al espacio exterior.

El 23 de marzo de 1965 los americanos lanzaron la cápsula Gémini 3 con Virgil I. Grissom y John W. Young, en una misión que duró 4 horas y 53 minutos y en la que se realizó por primera vez el cambio de plano orbital. La Gémini 4 se lanzó el 3 de junio de 1965, con una duración de 97 horas y 56 minutos, y en ella Edward H. White se paseó por el espacio durante 21 minutos, desplazándose mediante una pistola de gas. La Gémini 5 fue puesta en órbita el 21 de agosto de 1965, efectuó 120 órbitas terrestres y fue la primera nave que utilizó pilas de combustible para la producción de energía eléctrica. La Gémini 7 se lanzó el 4 de diciembre de 1965 con el objetivo de encontrarse con la Gémini 6 que fue lanzada el 15 de diciembre.

Separadas inicialmente por 1.922 km, al cabo de 7 horas 15 minutos se encontraban a 40 metros de distancia, llegando a aproximarse a solo 30 cm de distancia.

Se lanzaron después la Gémini 8 (16 de marzo de 1966) y la Gémini 9 (3 de junio de 1966), que tenían por misión una cita espacial y un ataque con un vehículo Agena. La Gémini 10 (18 de julio) fue encargada de interceptar dos vehículos en órbita. La Gémini 11 (12 de septiembre) efectuó una cita espacial en la primera órbita y pudo tender una cinta de nylon de 33,3 metros hasta el vehículo Agena.

Y también hubo accidentes: el 27 de enero de 1967, en la primera misión Apollo, en el centro espacial Kennedy, ocurrió un incendio dentro de la nave, muriendo los astronautas Virgil I. *Gus* Grissom, Edward H. White y Robert B. Chaffee. Y en la Unión Soviética, el 23 de abril de 1967, al enredarse los paracaídas con la cápsula, Vladimir M. Komarov chocó contra la tierra a 650 km/hora, muriendo instantáneamente.

El 9 de noviembre de 1967, se ensayó la posibilidad de enviar una nave a la Luna, lanzando el cohete Saturno V de tres etapas con una nave espacial Apollo de 20.408 kg, que alcanzó los 18.072 km de altura.

El 11 de octubre de 1968 tuvo lugar el primer vuelo tripulado (Walter M. Schirra, Donn F. Eisele y Walter Cunningham) de la nave Apollo 7, que duró once días, realizándose gran cantidad de experimentos.

Los rusos lanzaron dos naves del tipo Soyuz no tripuladas alrededor de la Luna en septiembre y noviembre de 1968.

El 21 de diciembre de 1968 la NASA envió el Apollo 8 a la Luna tripulado por Frank Borman, James Lovell y William A. Anders. Dieron diez vueltas a la Luna, regresando a la Tierra el 24 de diciembre. Siguieron las misiones Apollo 9 (3-13 de marzo de 1969) y Apollo 10 (18-26 de mayo de 1969), a modo de ensayo general de alunizaje.

Y al fin llegó el momento memorable. A las 9:32 del 16 de julio de 1969 se elevó el Apollo 11 desde el centro espacial Kennedy y el 20 de julio de 1969 a las 23:17:43 TMG el módulo lunar alunizó en el mar de la Tranquilidad.

Neil Armstrong, comandante de la nave, fue el primero que puso el pie en el suelo lunar (al saltar de la escalerilla dijo: «Es un pequeño paso para el hombre, pero un salto gigantesco para la humanidad»). Los otros astronautas eran Edwin Aldrin, piloto del módulo lunar, y Michael Collins, piloto del módulo de mando.

Todavía siguieron los Apollo 12, 13, 14, 15, 16 y 17 (7-19 de diciembre de 1972). En total en todas las misiones se recogieron 384,2 kg de muestras del terreno y de rocas. Se dedujo de su análisis que la Luna tiene la misma edad que la Tierra, unos 4.500 millones de años. A partir de entonces se han ido lanzando en todo el mundo satélites destinados a las comunicaciones, a cadenas de televisión, a observaciones meteorológicas, a la navegación y a usos militares.

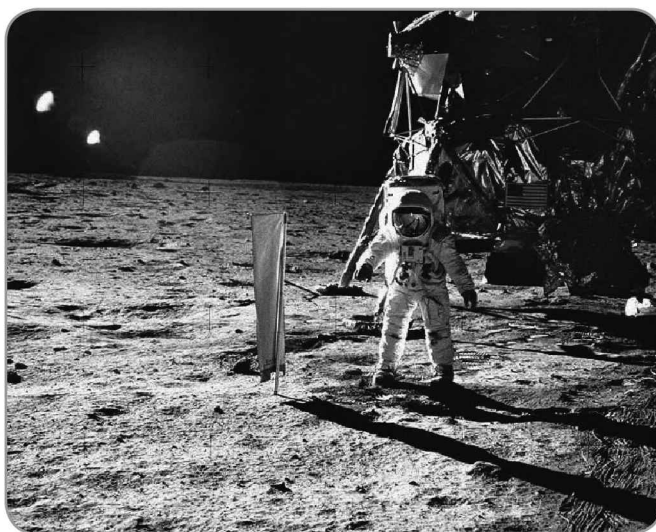


Figura 13.14. Módulo lunar.

Entre los últimos logros conseguidos en la exploración del espacio figuran la exploración de Marte realizada mediante las sondas *Mars Odyssey* lanzada por la NASA, la *Mars Express* lanzada por la Agencia Espacial Europea, que detectó evidencias de la existencia de un mar congelado bajo la superficie del planeta, y la *Mars Reconnaissance Orbiter* lanzada por la NASA, dotada de una cámara potente. Asimismo, la colaboración entre 16 países ha permitido montar la estación espacial internacional ISS (*Internacional Space Station*) que es una estación permanente de investigación espacial.

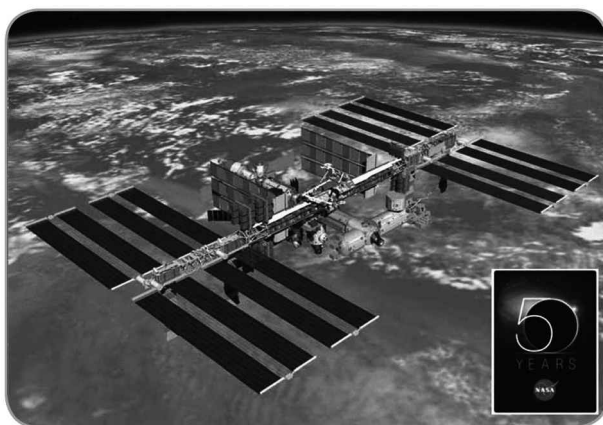


Figura 13.15. Estación Espacial Internacional (ISS).

Profesiones relacionadas con la aviación

14

14.1. CONTROLADORES

El control del tráfico aéreo es una necesidad primordial para la seguridad de los vuelos en todo el mundo. En un espacio aéreo limitado por las aerovías vuelan cada vez más aviones, con lo que existe un peligro real de colisión que es necesario evitar. Los pilotos tienen una visión limitada a través de la cabina de vuelo y pueden ser alcanzados por otro avión que vuele más rápido, por debajo o por arriba o por detrás. La silueta de un avión que se aproxime frontalmente es difícilmente visible para el piloto y la velocidad de aproximación relativa entre aeronaves puede ser de 1.800 km/h (500 m/seg) en los modernos reactores. El espacio aéreo (clases A, B, C, D, E, F y G) es utilizable para los dos tipos de vuelos, el VFR (visual), en el que el piloto es el responsable de la separación con los otros tráficos (a señalar que tiene prohibido el espacio A), y el IFR (instrumental), en que el responsable es el equipo de control de tierra.

Siendo evidente la necesidad de controlar el tráfico aéreo, es claro que el controlador aéreo ha sido y es la pieza clave que ha permitido el gran desarrollo de la aviación al contribuir de modo trascendental a la seguridad en el transporte de pasajeros y mercancías. Es una persona en cierto modo desconocida, pero es la pieza esencial para la seguridad del transporte aéreo. La profesión de controlador es tremendamente dinámica, trabaja con sistemas en continua evolución, aprende nuevas técnicas y tiene que hacer frente a las cargas de trabajo impuestas por el tráfico aéreo en continuo crecimiento. Tanto es así que ya se está tratando de expandir las aerovías, permitiendo que las aeronaves, gracias al sistema GPS, que permite establecer con exactitud su posición y comunicarla a los otros aviones, puedan volar libremente por el espacio aéreo.

En los primeros tiempos de la aviación el piloto solo disponía de radio y en vuelo sobre nubes, sin contacto con el terreno, llamaba al controlador cuando creía que estaba próximo al aeropuerto y este, guiándose solo por el ruido de los motores, le daba el rumbo para encontrar la pista. Algunas veces el vuelo terminaba en tragedia. Existen hoy en día muchas más ayudas a la navegación que permiten al piloto

recibir una asistencia precisa del controlador para encontrar el aeropuerto y aterrizar en él. De todos modos, el controlador continúa trabajando con un nivel de estrés permanente, lo que a la larga le puede provocar enfermedades psicosomáticas que repercuten en la parte más débil del cuerpo, con frecuencia en su aparato digestivo. Es consciente de que un fallo suyo puede traer consecuencias muy graves, con el posible resultado de impacto entre aviones o contra el terreno, y sabe que una decisión errónea puede desencadenar una verdadera catástrofe. En ninguna otra profesión dependen tantas vidas humanas de las decisiones de una sola persona.

El *Reglamento de la Circulación Aérea* señala que el Servicio de Control de Tránsito Aéreo se suministrará con el fin de prevenir colisiones entre aeronaves y entre estas y obstáculos en el área de maniobras, y además para acelerar y ordenar el movimiento del tráfico aéreo.

Así pues el controlador aéreo tiene por misión fundamental distribuir el espacio aéreo con seguridad, separando a los aviones que pretenden utilizarlo. Si bien dispone de equipos técnicos avanzados, todavía su trabajo es artesanal (mental), tomando decisiones personales sobre la prioridad de vuelo de los aviones o la asignación de niveles.

El oficio de controlador precisa de:

- Razonamiento abstracto y relaciones espaciales.
- Percepción espacial cinética, es decir, la capacidad de memorizar la situación de los aviones, que forman un mapa de tres dimensiones con puntos en movimiento a diferente velocidad, y separarlos en vertical, por espacios o por tiempos:
 - Capacidad de trabajar en condiciones de estrés y bajo presión.
- Uso de la fraseología aeronáutica y de los procedimientos para la perfecta comprensión de las comunicaciones, lo cual es vital para la seguridad del tráfico aéreo.
- Uso de fichas de progresión de vuelo de diferentes colores.
- Identificación de siluetas de aviones:
 - Conocimientos de meteorología.
- Conocimientos de las radioayudas (VOR, ADF, DME, Doppler, navegación inercial, RNAV o navegación de área, TACAN), de los procedimientos de espera, de los procedimientos de aterrizaje sin visibilidad (ILS) y del control por radar.
- Conocimiento del Reglamento de la Circulación Aérea.

Servicio de tránsito aéreo:

- Es proporcionado por dependencias establecidas que autorizan planes de vuelo y que incluyen tres servicios:

a) *Servicio de control de tránsito aéreo (ATC: Air Traffic Control)*, que abarca:

- Servicio de control de área, proporcionado por un centro de control de área (ACC: *Area Control Center*) que da servicio de tránsito aéreo para vuelos controlados, proporcionando separación vertical (niveles de crucero), separación horizontal (en tiempo o distancia o en diferentes rutas) o separación compuesta utilizando las aerovías (AWY: *Airways*, paralelepípedos de 5 o 10 NM de ancho) y las áreas de control terminal (TMA: *Terminal Area*) o espacios donde convergen varias aerovías. Un TMA como el de Barcelona abarca desde 1000' sobre el terreno (SFC = *Surface*) hasta el nivel de vuelo 195 (FL 195).



Figura 14.1. Centro de Control de Área (ACC). Fuente: ACC de Atenas (Mr.K. Patouras).

El ACC ocupa una sala de control con tantos equipos de controladores como sectores tenga el espacio aéreo. Cada equipo consta de tres controladores, dos hablando con los aviones y un tercero coordinando con los otros sectores. Además hay varios supervisores y un jefe de sala. Las aeronaves deben seguir las indicaciones de cada controlador y este debe estar además preparado para resolver inmediata y correctamente las emergencias que se puedan presentar.



Figura 14.2. Puesto de Control por radar. Fuente: ACC Atenas.

- Servicio de control de aproximación (APP: *Approach*), proporcionado por una torre de control de aeródromo o un centro de control de área o una oficina de control de aproximación, que da servicio de tránsito aéreo para aquellas partes de los vuelos controlados relacionadas con la llegada y salida de las aeronaves. Las zonas de control o espacios aéreos asignados (CTR: *Control*) consisten en un cilindro de 5 NM (9,3 km) de radio como mínimo, con centro el aeródromo o aeródromos de que se trate, que abarca desde el suelo (SFC: *Surface*) hasta un nivel especificado y que se alarga en las direcciones en que pueden efectuarse las aproximaciones. Por ejemplo, el CTR de Gerona es un cilindro de diámetro 24 NM (21,6 km) que parte del suelo (GND: *Ground*) y llega al nivel de vuelo 75 (FL75). El CTR de Barcelona es idéntico, con la salvedad de que parte de tierra y del agua (GND-SEA).
- Servicio de control de aeródromo (TWR: *Tower*), proporcionado por una torre de control de aeródromo, que da servicio para el tránsito de aeródromo y cuya misión es expedir autorizaciones a las aeronaves bajo su control y conseguir un movimiento de tránsito aéreo (rodadura, despegue, aterrizaje y aproximación) seguro, ordenado y rápido. La zona de control de aeródromo, es decir, su espacio aéreo controlado (ATZ: *Aerodrome Transit Zone*) abarca normalmente un cilindro de 5 NM (9,3 km) de radio con centro el punto de referencia del aeropuerto (ARP: *Airport Reference Point*) y altura especificada. El ATZ de Sabadell se extiende desde la superficie hasta 3000' sobre el terreno.



Figura 14.3. Torre de control del aeropuerto de Barcelona. Fuente: JetPhotos.net (Rafael Alvarez Cacho).

b) *Servicio de información de vuelo* (FIS: *Flight Information Service*), que transmite información relativa a la marcha de los vuelos por difusión directa a la aeronave o por una llamada general sin acuse de recibo. Incluye:

- Información meteorológica en ruta SIGMET (tormentas, engelamiento fuerte, granizo, cumulonimbus, tempestades extensas de arena y polvo, etc.).
- Información relativa a la actividad volcánica precursora de erupción (nubes de cenizas volcánicas).
- Cambios en las condiciones de servicio de las ayudas para la navegación.
- Cambios en los estados de los aeródromos (nevadas, lluvias intensas que inutilizan la pista).
- Información sobre globos libres no tripulados.
- Condiciones meteorológicas pronosticadas en los aeródromos de salida, de destino y alternativos y en la ruta.
- Información sobre aves.
- Servicio de alerta sobre situaciones de emergencia.
- Peligros de colisión en el espacio aéreo C, D, E, F y G.

c) *Servicio de alerta* para emergencias, interferencias ilícitas (secuestros), aeronaves extraviadas, etc. El servicio se presta cuando la dependencia considera que una aeronave se encuentra en estado de emergencia y consta de las siguientes fases:

1. Fase de incertidumbre (*INCERFA*), cuando no se ha recibido ninguna comunicación de la aeronave dentro de los 30 minutos en que debía haberla enviado, o no se ha podido establecer comunicación con la misma después de haberlo intentado infructuosamente durante 30 minutos, o bien no ha llegado a su punto de destino dentro de los treinta minutos siguientes a lo anunciado por ella.
2. Fase de alerta (*ALERFA*), cuando después de la fase de incertidumbre no se ha podido establecer comunicación con la aeronave, o cuando después de la autorización de aterrizaje la aeronave no lo haga dentro de los siguientes cinco minutos de la hora prevista de aterrizaje o cuando se recibe información de que las condiciones de funcionamiento de la aeronave no son normales, o bien cuando se sepa o se sospeche que la aeronave ha sido objeto de interferencia ilícita (secuestro).
3. Fase de peligro (*DETRESFA*), cuando después de la fase de alerta no se ha podido establecer comunicación con la aeronave, o se considere que ésta ha agotado el combustible, o que el mismo sea escaso para llegar a un lugar seguro, o bien que las condiciones de funcionamiento son anormales y existe la probabilidad de un aterrizaje forzoso.

Las habilidades y el entrenamiento necesarios de la profesión no pueden adquirirse a edades superiores a los 30 años, de manera que esta es en general la edad límite para entrar en servicio. El controlador puede trabajar en aviación general, en líneas aéreas y en aviación militar. Se le exige una gran dedicación, mucho esfuerzo y disciplina, pero tiene la recompensa de tener un trabajo estimulante y gratificante.



Durante algún tiempo los mundos del piloto y del controlador han sido diferentes, a veces con falta de entendimiento mutuo. De modo que se recomienda, aunque no sea obligatorio, que el controlador tarde o temprano obtenga el título de piloto. De este modo, cuando ejerce de controlador se sitúa mentalmente en el lugar del piloto y puede ayudarlo con mejor conocimiento de causa. Y a la inversa, no es que el piloto deba ser controlador, pero sí que conviene que efectúe visitas periódicas a torres y centros de control y hable con los controladores. De este modo, su buen hacer en las comunicaciones mejorará, se pondrá en el lugar del controlador y le facilitará su trabajo, lo que va a redundar en la seguridad del vuelo.

Existen programas informáticos que permiten comprobar la capacidad individual para ser controlador aéreo. Actualmente para obtener el título de controlador aéreo se precisa de un título universitario oficial de diplomado o licenciado, o haber superado el primer ciclo completo de una carrera universitaria de grado superior. Los estudios deben corresponder a titulaciones oficialmente reconocidas por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte español, o bien a títulos extranjeros homologados por el mismo Ministerio.

El nivel de inglés debe ser bastante alto, mínimo *First Certificate*, oral y discriminación auditiva, aptitud psicofísica de Clase 3, según normas de la Organización para la Aviación Civil. La edad, entre 21 y 28 años (no excluyente).

14.2. MECÁNICOS DE AVIACIÓN

Para la seguridad aérea es esencial que los aviones reciban un buen mantenimiento. Las averías que abajo en el suelo pueden repararse o arreglarse, en el aire pueden conducir a un aterrizaje forzoso o a la tragedia. De aquí que el piloto descansa en la buena labor del centro de mantenimiento de su avión. Y quien contribuye a esta labor es sin duda el mecánico de aviación. De él se espera un trabajo de calidad, bien hecho y sin prisas. Su perfil profesional debe incluir la responsabilidad, el orgullo por el trabajo bien hecho, una actitud positiva respecto a la aviación, estar en buena forma física, mantener una mejora continua en sus conocimientos para estar al día en los avances técnicos y en la aplicación de las normas, ser meticuloso en las inspecciones, seguir fielmente el manual de mantenimiento del fabricante del avión y sus directivas, estar siempre vigilante, usar las herramientas de forma segura (sin olvidarse ninguna en el avión) y trabajar con mente racional, no emocional, procurando que la tarea sea atractiva, no rutinaria ni aburrida. A señalar que en aviación el 80% de los accidentes está causado por factores humanos y que entre la cadena de sucesos que preceden a un accidente se encuentran, desde el punto de vista de mantenimiento, las tareas repetitivas.

El mecánico de aviación puede estar sometido a un continuo estrés, forzado por las urgencias excesivas de sus clientes, lo que puede inclinarle a no asegurarse de la calidad de su trabajo y paralelamente a mantener de forma continua una excesiva

preocupación sobre las posibles averías que puedan tener los aviones que mantiene. Si este estrés se prolonga mucho tiempo, le pueden aparecer enfermedades psicósomáticas (típica es la úlcera de estómago).



Figura 14.4. *Cajón de herramientas.*

Para defenderse del estrés es necesario hacer frente a los problemas y resolverlos. Ayuda el ejercicio físico y la relajación, y por supuesto la mejora profesional continua asistiendo a cursos de reciclaje y con una curiosidad constante en nuevos temas de mantenimiento.



Figura 14.5. *Avión bimotor en proceso de revisión.*

Sin embargo, su profesión le brinda la oportunidad de estar en el mundo aeronáutico, de realizar un trabajo de alta profesionalidad, con herramientas y sistemas especiales, que le hará enorgullecerse. Existen juegos de herramientas catalogadas como para motor-célula, instrumentos de a bordo, mecánico de motor, mecánico de escala

y electricista. El mecánico deberá tener un conocimiento general de los aviones, de sus características, de los motores, de los mandos de vuelo, del panel de control y de los instrumentos, así como de los dispositivos electrónicos y computadores de las modernas cabinas de vidrio (*glass cockpit*) y conocimientos generales de mantenimiento (preventivo, predictivo y correctivo).



Figura 14.6. *Fuselaje de avión desmontado.*

Las organizaciones de mantenimiento deben cumplir las especificaciones de las normas JAR-145 (Diario Oficial de las Comunidades Europeas 25 octubre 1994) revisadas con el Reglamento (CE) N° 2042/2003 de la Comisión de la UE de 20 de noviembre de 2003 sobre el mantenimiento de la aeronavegabilidad de las aeronaves y productos aeronáuticos, componentes y equipos, y sobre la aprobación de las organizaciones y personal que participan en dichas tareas.

Deben disponer de los equipos, herramientas y material adecuados y tener en plantilla una o varias personas para planificar, realizar, supervisar e inspeccionar el trabajo de mantenimiento. Dependiendo del tamaño de la empresa, pueden existir un director financiero, un jefe de ingeniería, un director de mantenimiento básico, un director de mantenimiento de línea, un jefe de taller y un jefe de control de calidad. Estos puestos se reducen a una o dos personas en pequeñas empresas. Son precisos equipos y herramientas debidamente identificados y calibrados, para medir, calibrar o ensayar los componentes o sistemas de un avión al objeto de que cumplan los estándares aprobados. Es necesario certificar los trabajos y guardar los registros de mantenimiento para cada avión, siendo muy útil el ordenador, para mantener un histórico de los trabajos efectuados.

Las organizaciones de mantenimiento pueden llevar a cabo los siguientes trabajos, según el tipo de aprobación JAR de que dispongan:

Categoría A: mantenimiento en aviones y cualquier componente montado en el avión.

A1 - Aviones de peso > 5.700 kg

A2 - Aviones de peso < 5.700 kg

A3 - Helicópteros

A4 - Aeronaves distintas de A1, A2 y A3

Categoría B: motores y APU (*Auxiliary Power Unit*) y sus componentes.

B1 - Turbina

B2 - Pistón

B3 - APU

Categoría C: elementos que no sean motores completos o APU.

C1 - Aire acondicionado

C2 - Piloto automático

C3 - Comunicaciones y navegación

C4 - Puertas, escotillas

C5 - Suministro eléctrico

C6 - Equipos

C7 - Motores, APU

C8 - Controles de vuelo

C9 - Combustible, fuselaje

C10 - Helicóptero, rotores

C11 - Helicóptero, trans

C12 - Sistemas hidráulicos

C13 - Instrumentos

C14 - Tren de aterrizaje

C15 - Oxígeno

C16 - Hélices

C17 - Sistemas neumáticos

C18 - Protección contra hielo, lluvia, incendio

C19 - Ventanas

C20 - Estructura de la aeronave

Servicios especializados D1: ensayos no destructivos.



Figura 14.7. Placa conforme a normas JAR – 145.

El BOE nº 201 de 23 de agosto de 1995 establece el título de *formación profesional de Técnico Superior en Mantenimiento Aeromecánico*. El curso dura cinco trimestres, más la formación en el centro de trabajo correspondiente, con un total de 2.000 horas. El técnico, actuando bajo la supervisión general de ingenieros o ingenieros técnicos, realiza el mantenimiento preventivo y correctivo de aeronaves de ala fija y rotatoria y sus sistemas, equipos y componentes en el área mecánica (planta de potencia, sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos y célula). Abarca la actividad en hangar, línea y taller, y participa de su gestión, según normativas de calidad, seguridad e higiene industrial.

Las materias son:

- Componentes y navegación de las aeronaves (60 horas).
- Formación en centros de trabajo (400 horas).
- Formación y orientación laboral (60 horas).
- Hidráulica y neumática (90 horas).
- Legislación y organización del mantenimiento (90 horas).
- Materiales y estructuras de las aeronaves (120 horas).
- Motor de pistón, hélices y sus sistemas (140 horas).
- Motor de reacción, sus sistemas y la unidad de potencia auxiliar (APU) (180 horas).
- Relaciones en el ámbito de trabajo (60 horas).
- Seguridad en el mantenimiento de aeronaves (60 horas).
- Sistemas de la aeronave I (160 horas).
- Sistemas de la aeronave II (180 horas).
- Sistemas eléctricos/electrónicos de las aeronaves (140 horas).
- Técnicas electromecánicas básicas para el mantenimiento (90 horas).

El BOE nº 226 de 21 de septiembre de 1995 (RD 626/1995 de 21 abril) establece el título de *formación profesional de Técnico Superior en Mantenimiento de Aviónica (currículo RD 203/1996, de 9 de febrero)*, con competencias en el mantenimiento de los sistemas eléctricos y de instrumentación, los sistemas de comunicación y navegación, los de ayuda en tierra, los de vuelo, automático, los de computarización y registro de datos de vuelo, y la participación en el sistema de gestión de mantenimiento y seguridad de la aeronave.

Las materias son:

- Sistemas electrónicos de la aeronave y componentes asociados.
- Sistemas de instrumentación, de registro de datos de vuelo y de mantenimiento centralizado de la aeronave y sus componentes.
- Plantas de potencia y sistemas mecánicos de las aeronaves.

- Sistemas de comunicaciones y de navegación de la aeronave y componentes asociados.
- Sistemas de vuelo automático: piloto automático, gestión de vuelo y entorno de vuelo.
- Computadores de aeronave, teoría de operación y mantenimiento de los mismos.
- Legislación y organización del mantenimiento.
- Técnicas electromecánicas básicas para el mantenimiento.
- Seguridad en el mantenimiento de las aeronaves.
- Componentes y navegación de las aeronaves.
- Relaciones en el entorno de trabajo.
- Formación y orientación laboral (FOL).

Y al finalizar la formación en el centro educativo, se realizan actividades propias de la profesión en centros de trabajo (FCT).

Sus competencias profesionales son:

- Mantener los sistemas eléctricos y de instrumentación de la aeronave, así como los subconjuntos y elementos eléctricos y electrónicos que los constituyen o que forman parte de otros sistemas, y los servicios del área de aeromecánica en la línea.
- Mantener las instalaciones, subconjuntos, componentes y elementos de los sistemas de comunicación y navegación de las aeronaves, de los sistemas de ayuda en tierra y de los sistemas de vuelo automático.
- Mantener los sistemas de computerización de las aeronaves y los subconjuntos, componentes y elementos que los constituyen.
- Participar en la gestión del mantenimiento, colaborando y/o contemplando partes de su logística, decidiendo en ciertos casos sobre las condiciones de aeronavegabilidad de la aeronave.

Las normas JAR-66 edición del 3 de abril de 1998 (Diario Oficial de las Comunidades Europeas 25 octubre 1994) revisadas con el Reglamento (CE) N° 2042/2003 de la Comisión de la UE de 20 de noviembre de 2003, se aplican al *Técnico de Mantenimiento de Aeronaves* y a la habilitación de personal de mantenimiento, limitándose a aviones de peso máximo al despegue de 5.700 kg o superior, y a personas mayores de 20 años.

El Diario Oficial de la Unión Europea de 28 de noviembre de 2003, Parte 66.A.30 para la solicitud de una LMA (Licencia de Mantenimiento Aeronáutico), establece las categorías:

A (ayudante certificador), B1.1 (certificador avión turbina), B1.2 (certificador avión pistón), B1.3 (certificador helicóptero turbina), B1.4 (certificador helicóptero pistón) y B2 (certificador aviónica) y Categoría C (certificador total).

En todas las categorías es necesario leer y comprender los manuales, así como cumplimentar escritos y documentación técnica, y comunicarse a un nivel tal que no pueda haber malentendidos.

Actualmente para obtener el título de técnico en mantenimiento de aeronaves (TMA) se precisa de FP1 o equivalente y edad mínima 21 años. El plan de estudios tiene una duración de tres años (1.800 horas). Debe aprobarse un examen tipo test. Las Escuelas están reguladas por la JAR-147: normativa de reconocimiento de centros de instrucción de mecánicos de aviación.

La duración mínima de los cursos básicos completos es, según la categoría, de:

Curso básico	Duración (en horas)	Ratio de formación teórica (en %)
A1	800	30 a 35
A2	650	30 a 35
A3	800	30 a 35
A4	800	30 a 35
B1.1	2.400	50 a 60
B1.2	2.000	50 a 60
B1.3	2.400	50 a 60
B1.4	2.400	50 a 60
B2	2.400	50 a 60

14.3. TRIPULANTES DE CABINA DE PASAJEROS (TCP)

Los tripulantes de cabina de pasajeros o llamados también auxiliares de vuelo tienen por misión fundamental velar por la seguridad de los pasajeros. Así lo establece la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional; en inglés ICAO: *International Civil Aviation Organization*) al definir como su objetivo el conseguir un transporte aéreo seguro, rápido y eficaz. Todavía se tiene la falsa idea de que los TCP son unos servidores dedicados exclusivamente a la comodidad de los pasajeros.

En el año 1930 se permitió a las mujeres ser auxiliares de vuelo (así se llamaban entonces), mientras que en el año 1960 se autorizó también a los hombres, y así se ha llegado a un cuerpo de profesionales hombres y mujeres llamados tripulantes de cabina de pasajeros (TCP).



Figura 14.8. *Tripulante de cabina de pasajeros.*

Los TCP tienen la posibilidad de realizar vuelos nacionales e internacionales viajando por todo el mundo, disponen de horas libres para compaginar la profesión con su vida privada (su jornada de trabajo no excede de las 1.800 horas anuales), su profesión es independiente y dinámica, pueden relacionarse con personas de todas las clases sociales, deben mantener un buen nivel de formación y pueden volar gratuitamente o con tarifas reducidas.

Sin embargo los inconvenientes de la profesión son estar alejados de casa días o semanas, tener que tratar con pasajeros difíciles, superar las exigencias físicas del trabajo y contar con la posibilidad de verse involucrados en alguna emergencia. Todo ello puede afectar a su vida familiar y repercutir en su salud física y mental.

Un día cualquiera de vuelo en la vida de un TCP transcurre yendo desde casa al aeropuerto, a una hora temprana para ser puntual en la oficina de vuelo de la compañía, firmando el libro de vuelo, leyendo la información de la compañía, asistiendo al *briefing* (reunión con la tripulación, previa al vuelo) y anotando la información dada por el sobrecargo o primer auxiliar de vuelo, sobre los pasajeros, la comida y otros detalles necesarios, y repasando las normas de seguridad.

Al embarcar en el avión el TCP realiza una inspección de seguridad, prepara el buffet, hace el inventario de cabina y atiende a los pasajeros mientras embarcan. Después del despegue da la bienvenida a los pasajeros, les hace una demostración personalmente o mediante un vídeo del uso de las máscaras de oxígeno, de los chalecos salvavidas y de las puertas de salida de emergencia, y procura no molestar a los pilotos durante los primeros diez minutos de vuelo. Después procede al servicio de comidas y bebidas y durante el resto del vuelo atiende las peticiones de los pasajeros siempre que sea posible. Después del aterrizaje, cuando los pasajeros han desembarcado, efectúa una comprobación final de la cabina.

Los conocimientos que debe poseer el TCP son:

- **Conocimiento general de los aviones**, de sus características de vuelo, de los mandos, de los instrumentos, así como de los dispositivos electrónicos de las modernas cabinas de vidrio (*glass cockpit*). Conocimiento detallado del interior del avión, de la distribución de los asientos de los pasajeros, de las salidas de emergencia, de la cocina, de las puertas de salida, los lavabos, etc.
- **Códigos de aeropuertos y de ciudades y conocimientos básicos de geografía.**
 - Conocimientos de meteorología.
- **Legislación aeronáutica.** En particular el Anexo 1 del Convenio de Chicago (noviembre-diciembre de 1944), que establece los requisitos médicos para expedir el certificado de aptitud y las Normas JAR (*Joint Aviation Requirements*) que se aplican a partir de 1990. De ellas las JAR-OPS regulan las operaciones de las aeronaves destinadas al transporte público de pasajeros y son de interés para el tripulante de cabina de pasajeros. También son de interés los trabajos de la CEAC (Comisión Europea de Aviación Civil), la Ley de Navegación Aérea 48/1960, artículos 56 y 59, la Ley Penal y Procesal de Navegación Aérea y el Reglamento de Circulación Aérea 73/1992.
 - *Mercancías peligrosas* (normativa e inspección permanente de cualquier eventualidad en tierra y en vuelo relacionada con mercancías peligrosas-Anexo 18 de la OACI). Según la OACI las mercancías peligrosas son: «Todo artículo o sustancia capaz de constituir un riesgo importante para la salud, la seguridad o la propiedad, cuando se transportan por vía aérea». En el capítulo 9 se señala que el piloto al mando y los TCP deben recibir la información pertinente sobre el transporte y manejo de mercancías peligrosas, así como las medidas a adoptar si surgen situaciones de emergencia.

Todas las mercancías deben estar marcadas e identificadas con etiquetas con colores y símbolos y deben estibarse bien. Hay un total de 2.500 productos clasificados como mercancías peligrosas para su transporte por vía aérea. Algunas mercancías tienen el transporte completamente prohibido, tales como los explosivos sensibles al calor o al choque mecánico, las sustancias que puedan desprender emanaciones peligrosas de calor o gas y los líquidos radioactivos que ardan en contacto con el aire. Existen también tablas de productos que el pasajero puede o no llevar consigo. Por ejemplo, más de 5 kg de cartuchos solo se pueden facturar como equipaje. Es claro que si un TCP descubre que un pasajero ha subido a bordo un producto peligroso, debe informar inmediatamente a su supervisor en tierra o al piloto al mando en vuelo.
- **Factor humano.** El TCP debe ser un buen psicólogo de la conducta humana, en particular la de los pasajeros, con conocimientos sobre los patrones de per-

sonalidad, el aprendizaje, el error humano (tipo SHEL) y los tipos de error. La fatiga de vuelo puede presentarse en cualquier momento, por lo que el ATP, para prevenirla, debe programar correctamente sus actividades, con un descanso adecuado, un ejercicio físico regular, una alimentación sana y con la práctica de técnicas de relajación que son muy útiles para combatir el estrés. El estrés se define como una reacción natural del organismo que forma parte del síndrome general de adaptación del ser humano ante situaciones críticas. En el límite, un estrés permanente en el individuo puede incluso llegar a causarle la muerte.

Debe estar entrenado en técnicas de comunicación y coordinado con el resto de la tripulación, trabajando en equipo, obedeciendo al mando, con sentido de responsabilidad, iniciativa y compañerismo. Si la tripulación está bien coordinada será eficaz y segura. Una de las causas de algunos accidentes, ha sido los fallos en la coordinación de la tripulación.

- *Servicios a bordo.* Dando un buen servicio a los pasajeros, entendiéndolo como servicio, no servilismo (persona que depende de un señor, es decir, es un esclavo y muestra sumisión humillándose), sino sencillamente hacer bien su trabajo (lo que es algo digno) en los servicios de comidas y bebidas, y en las atenciones personales a los pasajeros.

Los tipos de pasajeros pueden ser muy variados, viajeros impedidos o con alguna minusvalía, niños sin acompañante, pasajeros exigentes, y cabe la posibilidad de que puedan presentarse desmayos e incluso algún fallecimiento en vuelo.



Figura 14.9. *Servicio a los pasajeros.*

- *Situaciones de emergencia,* tales como la pérdida de presurización del avión, sea una pérdida de presión lenta o bien una descompresión, el fuego, etc. Debe conocer los sistemas de evacuación de emergencia y los procedimientos de primeros auxilios.



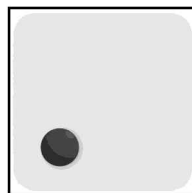
Figura 14.10. *Prácticas de salvamento.*

Debe anticiparse a las situaciones de emergencia provocadas por los pasajeros. Los conflictos los pueden crear pasajeros de conducta desadaptada, neuróticos, con trastornos psicosomáticos, esquizofrénicos, con problemas de personalidad y criminales, así como personas con posibles reacciones anormales por estar ebrios, tener crisis de ansiedad o psicosis maníaco-depresiva, o bien pasajeros en grupo con conductas tumultuosas. El TCP debe ser capaz de identificar posibles reacciones anormales de estos pasajeros y neutralizarlas al momento o bien informar al piloto al mando.

Un caso especial es el de los secuestradores. La conducta fundamental del TCP es no emprender acción alguna que pueda poner en peligro la vida de un pasajero. El TCP puede encontrarse con secuestradores políticos (los más peligrosos por su idealismo y fanatismo), psicópatas, escapistas y secuestradores por dinero. Para manejar la situación el TCP deberá enterarse en primer lugar de la motivación de los secuestradores, no deberá discutir con ellos y, sobre todo, si el secuestro dura varias horas que le van a permitir conocerlos un poco más, no justificar el secuestro, por acercamiento inconsciente a los secuestradores (síndrome de Estocolmo). Cabe mencionar que los secuestros han disminuido notablemente gracias a las medidas de control en el acceso de los pasajeros y sus maletas al avión.

Actualmente para obtener el título de tripulante de cabina de pasajeros (TCP) se precisa ser mayor de 18 años, tener alturas mínimas de 1,62 m en mujeres y de 1,70 m en hombres, tener el FPPII, ESO, BUP o equivalente, un perfecto dominio del español e inglés oral y escrito, un certificado de aptitud psicofísica clase 2, saber nadar (100 m en 2 minutos 30 segundos), aprobar un examen de las materias y un certificado de haber superado un curso general de emergencias y salvamento aprobado por la Dirección General de Aviación Civil, en que conste la habilitación del tipo o tipos de aeronaves. Se valora especialmente poseer el certificado de TCP tras haber superado un curso impartido por los centros homologados por la Dirección General de Aviación (duración de unas 300-400 horas).

Apéndice



EL RINCÓN DEL PILOTO

Los aficionados a la aviación, los que quieren ser pilotos y los que ya lo son, llegan a obsesionarse con el vuelo. Los primeros pilotos solo contaban con sus sentidos (que a veces les engañaban) y sus reflejos (que a veces también eran malos consejeros) para realizar vuelos seguros y regresar a tierra sanos y salvos. Hoy en día, se tiene un gran conocimiento de la aviación y han pasado los tiempos heroicos en los que casi había que reinventar la aviación en cada país. De la herencia inicial del vuelo y de los vuelos actuales han quedado, para la posteridad, unas máximas que merecen ser recordadas en este rincón del piloto, por su sabiduría extraída de la experiencia. Helas aquí:

MÁXIMAS DEL PILOTO

- Fallar en la preparación del vuelo es prepararse a fallar.
- Velocidad y altura conservan la dentadura.
- La velocidad es la vida, pero la altura es el seguro de vida.
- Nadie ha chocado nunca contra el cielo.
- Es mejor estar en el suelo, deseando estar arriba, que estar arriba deseando estar en el suelo.
- A recordar siempre: El avión se vuela con la cabeza, no con las manos.
- La única vez en que se tiene demasiado combustible es cuando se declara un incendio.
- No hay nada mas inútil que el cielo encima, el combustible en el suelo y la pista detrás.
- Cuando se vea obligado a volar a baja altura por el cielo cubierto de nubes con un techo bajo, y el terreno está sembrado con torres de alta tensión, no vuele nunca sobre los cables (son difíciles de ver desde arriba), más bien sobrevuele las torres, que estas sí son bien visibles, ya que volando sobre ellas nunca chocará con los cables.



- Cuente con el fallo.
- No vuele solo con tiempo marginal (un piloto que lleve el avión, el otro la navegación).
- Enuncie los puntos de chequeo en voz alta.
- Utilice la pista total para el despegue.
- Velocidad correcta es media vida (en tiempo turbulento).
- Cuando exista duda en caso de hielo, ascienda.
- Suba en el frente frío, descienda en el frente cálido (para evitar el hielo).
- Cuando haya viento en contra, vuele bajo, si hay viento a favor, vuele alto.
- Cualquier cosa que pueda ajustarse, tarde o temprano necesitará un ajuste.
- Dos partes idénticas no son iguales.
- Si usted consulta a varios expertos, puede confirmar cualquier opinión.
- Nadie le hace caso hasta que comete un error.
- Si usted se explica tan claramente que cree que todo el mundo le va a entender, alguien no le comprenderá.

Al inicio de la aviación, el hombre estaba acostumbrado a manejar caballos, barcos y automóviles, de manera que en forma parecida se dispusieron los mandos de los timones de los aviones.

Citando parte del texto del capítulo XXV de un curso de aviación del año 1910 dado por Gaspar Brunet y Viadera, ingeniero industrial:

“Los constructores han fijado su atención en los movimientos reflejos naturales a los jinetes y a los automovilistas:

Cuando un jinete quiere encabritar su cabalgadura, tira de las riendas, y al contrario, para hacer bajar la cabeza al caballo, las afloja. Han dispuesto pues, la guía en tal forma, que para hacer encabritar (o ascender) el aeroplano, es preciso tirar de la guía hacia sí, por el contrario, para hacer descender el aeroplano, es preciso empujarla hacia delante o aflojarla.

Cuando un automovilista, quiere virar a la derecha, hace girar la guía hacia su derecha en el mismo sentido que giran las agujas del reloj, e inversamente en el caso contrario. En el avión, la misma rotación de la guía provoca el mismo viraje.”

También llama la atención la disposición de los pedales de dirección; en rodadura o en vuelo si el piloto desea girar o guiñar el morro hacia la derecha, debe pisar con el pie el pedal derecho. Pues bien, este sistema de accionamiento es de sentido contrario a los siguientes ejemplos naturales (solo algunos aviones operaban de este modo natural hasta 1910):

- El jinete tira de la rienda derecha para que el caballo se desvíe a la derecha.
- Al ir en bicicleta para virar a la derecha giramos el manillar en esta dirección, lo que representa tirar del manillar derecho.

- En las típicas plataformas de madera con ruedas de cojinete de bolas, que montamos de pequeños, se orientaban la rueda (o las ruedas) delanteras hacia la derecha para virar a la derecha.

¿Cuál es el motivo? Quizás, los constructores preferían operar con los cables de accionamiento en tensión, no en compresión, y no deseaban cruzar los cables entre sí, para disponer de más espacio.

Es también curioso el accionamiento del gas. Inicialmente, en algunos aviones, era operado por el pie como en los automóviles (año 1910) y en otros con palancas. Después, hasta 1945, en Francia e Inglaterra el piloto tiraba de la palanca hacia sí para dar más potencia, mientras que en Alemania se empujaba la palanca hacia dentro, lo que corresponde al sentido actual de accionamiento.

Los primeros aviones volaban a una velocidad de crucero muy próxima a la de la pérdida, de manera que una simple distracción del piloto podía provocar la caída del avión. Si una vez iniciada la pérdida, el avión se inclinaba a un lado, por ejemplo, el derecho, el piloto instintivamente accionaba la palanca de los alerones en sentido contrario, con lo que el alerón derecho al bajar contribuía, por el rozamiento contra el aire, a un retraso del ala derecha, favoreciendo todavía más la pérdida. (Así le ocurrió al autor que, sin sufrir daños personales, destrozó un ala y el tren de aterrizaje de un ultraligero al entrar en pérdida en el despegue.)

NORMAS DE SEGURIDAD DE LOS PILOTOS NORTEAMERICANOS del año 1920

Fuente: Pilotos y Aventura, de Carlos Pérez San Emeterio, y que, leyéndolas entre líneas, todavía continúan vigentes.

1. No lleve el avión al aire a menos que esté seguro de que volará.
2. Nunca despegue con pérdidas de combustible o aceite en el motor.
3. No haga virajes bruscos cuando ruede. En lugar de virar muy ceñido, haga que alguien levante y traslade la cola.
4. En el despegue, mire al suelo y al aire.
5. Nunca abandone un avión con el motor en funcionamiento hasta que el piloto que le va a relevar pueda alcanzar el mando de gases.
6. Los pilotos deben llevar a mano pañuelos para limpiarse las gafas.
7. Está prohibido volar sentado en la escalerilla, las alas o la cola.
8. En caso de parada de motor en el despegue, aterrice por derecho sin preocuparse de los obstáculos que pueda haber.
9. Ningún avión debe rodarse a velocidad superior a la de un hombre andando.
10. No confíe en los instrumentos que marcan la altura.



11. Aprenda a medir la altura, especialmente en el aterrizaje.
12. Si observa otro avión cerca del suyo, apártese de su camino.
13. Dos alumnos no deben volar juntos en el mismo avión.
14. Nunca acelere en tierra el motor excesivamente, para que el aire de la hélice no vaya a otros aviones.
15. Antes de comenzar un descenso asegúrese de que no hay otros aviones debajo.
16. No se tolerará el vuelo rasante.
17. No se permiten barrenas ni resbales de cola, pues fuerzan el avión innecesariamente.
18. Si vuela contra el viento y desea virar y volar a su favor, no haga un viraje demasiado ceñido cerca del suelo, puede estrellarse.
19. Se sabe que los motores se paran durante un descenso prolongado. Si desea utilizar el motor para aterrizar, debe meterle unas chorreaditas de vez en cuando.
20. No intente meter el avión en el suelo a más velocidad de la normal en vuelo. El resultado será botes, caídas de ala y más rebotes.
21. Los pilotos no deberán llevar espuelas mientras vuelan.
22. No utilice gasolina de coche o de motocicleta en el avión.
23. No debe despegar ni aterrizar a menos de 15 metros de un hangar.
24. Nunca lleve un avión al aire hasta que no esté familiarizado con sus mandos e instrumentos.
25. Si ocurre una emergencia mientras vuela, aterrice tan pronto como sea posible.

REGLAS EMPÍRICAS (*RULES OF THUMB*)

Fuente: AOPA, FlightInfo, Plane & Pilot

Estas reglas pueden ser útiles al piloto, para ayudarle en el cálculo mental de datos importantes en su vuelo, en particular mientras está ocupado llevando el avión y en las peores condiciones de turbulencia y tiempo marginal. Evidentemente si dispone de un GPS en el avión que le va facilitando toda una serie de datos de su velocidad real, tiempo que tardará en llegar al siguiente punto de la ruta (*waypoint*), etc., no las va a necesitar, pero ¿y si le fallan los instrumentos? Aparte de que conviene señalar que un piloto VFR debe estar preparado para volar en visual sin ayuda alguna de los instrumentos que pueda llevar a bordo.

- Todos los datos del manual del avión reflejan unas condiciones óptimas del avión y del piloto, por lo que deben considerarse con un margen de seguridad del 20%.
- Regla de las 3 cosas:
 - Si 3 cosas van mal antes de despegar, no despegue.
 - Si 3 cosas van mal cuando ya está volando, aterrice.

- Regla mnemotécnica en cabecera, antes del despegue CIGAR:
 - C – Controles libres.
 - I – Ajuste instrumentos.
 - G – Gas en el tanque más lleno o en ambos.
 - A – Actitud (ajuste) compensador de altura.
 - R – *Run-up* (calentamiento, comprobación motor).
- Regla mnemotécnica en la cabecera – listo para el despegue LCA (Luz, Cámara, Acción):
 - L (Luz) – Luces de rodaje y de aterrizaje.
 - C (Cámara) – Mirar el tráfico.
 - A (Acción) – Llamar por radio a la torre.
- Regla mnemotécnica en la aproximación:
 - ME LO PASO BOMBA CON EL TREN.
 - Mezcla rica.
 - PASO corto.
 - BOMBA eléctrica.
 - TREN abajo.
- Tiempo en alcanzar un punto (aeropuerto, ciudad, etc):
 - Velocidad 180 nudos (GS) distancia (20 millas)/3.
 - $20 \text{ millas} / 3 = 6,6 \text{ minutos para llegar}$
 - Velocidad 150 nudos (GS) = distancia (20 millas)*4 y tachar el último cero.
 - $20 \text{ millas} * 4 = 80 - \text{tachando el } 0 = 8 \text{ minutos para llegar}$
 - Velocidad 120 nudos (GS) distancia (20 millas)/2.
 - $20 \text{ millas} / 2 = 10 \text{ minutos para llegar}$
 - Velocidad 100 nudos (GS) = distancia (20 millas)*6 y tachar el último cero.
 - $20 \text{ millas} * 6 = 120 - \text{tachando el } 0 = 12 \text{ minutos para llegar}$
- Combustible consumido en el rodaje (motor casi al ralentí) =
 - = 12 litros/hora (3,17 galones/hora)
- Combustible consumido en el despegue y el ascenso hasta la altitud de crucero:
 - Añadir 1,7 litros (0,45 galones) o en peso 1,36 kg (3 libras) por cilindro.
 - Motor de 4 cilindros 6,8 litros (1,8 galones) o en peso 5,44 kg (12 libras).
 - Motor de 6 cilindros 10,2 litros (2,7 galones) o en peso 8,16 kg (18 libras).
- Combustible consumido en crucero:



Motor de explosión con la mezcla pobre adecuada a la altitud de vuelo = 0,2 litros/HP (0,05 galones/HP).

Motor de turbina = 0,25 litros/HP (0,066 galones/HP).

- Consumo de combustible en avión de pistón en crucero (75% de la potencia):
 - HP / 2 tachar el 0 y añadir 1.
 $100 \text{ HP} / 2 = 50$, tachar el 0 = $5 + 1 = 6$ galones/h (promedio) = 23 litros/h.
 O bien (75% potencia)
 $\text{HP} / 20$. Así: $100 / 20 = 5$ galones/hora = 23 litros/h.
- Inversión de rumbo. Añadir 2, restar 2 o restar 2 y añadir 2:
 - Rumbo $60^\circ + 2 \text{ \& } - 2 = 240^\circ$
 - Rumbo $240^\circ - 2 \text{ \& } 2 = 60^\circ$
- Aguja de desviación del VOR 10° es toda la escala:
 - 1° = Desviación 1 milla del radial si la distancia a la estación es de 60 millas.
 - 10° = Desviación 10 millas del radial si la distancia a la estación es de 60 millas.
 - 5° = Desviación 2,5 millas del radial si la distancia a la estación es de 30 millas.
- Distancia a la estación con el VOR alineado con el radial hacia la estación.

Virar 90° a la izquierda o a la derecha y desplazarse X° al nuevo radial. El tiempo empleado en interceptar el nuevo radial es la distancia en tiempo a la estación.

Rumbo 090 en radial 270° . Cambio de 10° en curso a la derecha y si para alcanzar el radial 280 ($X = 10^\circ$) toma 7 minutos, el avión está a 7 minutos de la estación en el nuevo radial 280° .

- Fallo de motor en vuelo:
 - 1 – Volar el avión.
 - 2 – Volar el avión.
 - 3 – Volar el avión.
- Aterrizaje emergencia con motor parado. *Please START* (por favor arranca):
 - P – Pendiente del mejor planeo.
 - L – *Landing* – encontrar un campo.
 - S – Silla (asiento) – cinturones seguridad.
 - T – Trazador fallos – listas comprobación.
 - A – Aproximación – Prepararse para el aterrizaje.

R – Radio – llamada de emergencia y transponder en 7.700.

T – Todo fuera – listas comprobación.

- Viento lateral – en vuelo o en el aterrizaje:

Imaginando un reloj – 15' es un cuarto de hora, 30' es la media y 45' son tres cuartos.

Viento a 15° del morro el efecto es $\frac{1}{4}$, si está a 30° es $\frac{1}{2}$ y a 45° será $\frac{3}{4}$.

Así, un viento de 20 nudos formando 15° con el morro tiene un componente cruzado de $20 * \frac{1}{4} = 5$ nudos.

Si forma 30° el componente cruzado es $20 * \frac{1}{2} = 10$ nudos.

Si forma 45° el componente cruzado es $20 * \frac{3}{4} = 15$ nudos.

- Ángulo de inclinación según la velocidad para dar una vuelta (360°) = $IAS/10 + 7$:
100 nudos – $100/10 + 7 = 17^\circ$ de inclinación.

- La temperatura estándar (ISA) es de 15 °C a nivel del mar y desciende 2° por cada 1.000 pies:

Temperatura estándar a nivel de vuelo (FL) 210 = $15 - 21 * 2 = 15 - 42 = -27^\circ\text{C}$.

- Altitud de densidad – altitud de presión PA (1.013,2 mb en altímetro), añadir o restar la temperatura estándar correspondiente a esta altitud de presión y multiplicar la diferencia por 120 pies:

PA = 5.000', temp. 22 °C, temp. estándar a 5.000' = 5 °C.

$22 - 5 = 17 * 120 = 2.040$ pies.

Como la temperatura es más alta que la estándar $2.040 + 5.000 = 7.040$ pies.

- Punto para el descenso a un aeropuerto = $\text{Altitud} * 3 + 10$:

FL 350: $35 * 3 + 10 = 115$ millas.

- Velocidad vertical de descenso:

Descenso de 10.000 pies con 4/1 requiere 40 millas y 1.500 pies/minuto.

Descenso de 10.000 pies con 3/1 requiere 30 millas y 2.500 pies/minuto.

Descenso de 10.000 pies con 2/1 requiere 20 millas y 3.500 pies/minuto.

Descenso de 6.000 pies con 3/1 requiere 18 millas y 2.500 pies/minuto.

- Rumbos en el circuito de tráfico:

Pista en servicio – sumar los números y añadir 90° sucesivamente.

Pista en servicio 35 – $(3 + 5 = 8)$.

Viento cruzado 080°.

Viento en cola = $080 + 90 = 170^\circ$.

Base = $170 + 90 = 260^\circ$.

La suma de los dígitos de cada rumbo debe ser 8.



- Llamada por radio:

Quiénes son, quién soy yo, dónde estoy yo, qué quiero yo.

(Who they are. Who you are. Where you are. And what you want).

Sabadell torre, ECGFO, Punto Echo, Solicito instrucciones aproximación.

- Llamada por radio inicial con ATC (IPADS):

I – Identificación.

P – Posición.

A – Altitud.

D – Destino/dirección.

S – *Squawink* (respondedor).

I – ECGFO.

P – 10 millas de su VOR – radial 100.

A – 2.500 pies.

D – De Sabadell a Ampuriabrava.

S – 1200.

- Distancia máxima de recepción de una estación UHF.

$$1,23 * \sqrt{\text{altitud sobre emisora (pies)}} = 1,23 * \sqrt{5000} = 87 \text{ millas}$$

- Aumentar la velocidad de aproximación en el aterrizaje del 10% representa el 20% de aumento de longitud de pista hasta el paro del avión:

$$50 \text{ nudos} + 10\% = 55 \text{ nudos} / 300 \text{ pies pasan } 300 + 20\% = 360 \text{ pies.}$$

- Aumentar el peso en el 10% = 20% longitud pista para el despegue y el aterrizaje.
- Aumento de la temperatura en 1 °C con relación a la estándar = 1% longitud pista para el despegue y el aterrizaje.
- Por cada 1.000 pies sobre el nivel del mar = 15% longitud pista para el despegue y el aterrizaje.
- Punto de aborto del despegue = ½ pista si no se alcanza el 70% velocidad de vuelo.
- Por cada 1.000 pies sobre el nivel del mar = potencia motor pistón baja 3%.
- En todas las fases del vuelo - LIFTS:
 - L – Luces.
 - I – Instrumentos (vuelo, radio, motor).
 - F – Fuel bomba, fuel cantidad, flaps.
 - T – Tiempo, trimado, transponder.
 - S – Seguridad (puertas, ventanillas, asientos y cinturones de seguridad).

- Fallo de motor - ALARMS:
 - A – Aire velocidad.
 - L – Localizar un campo para aterrizar.
 - A – Aire rearmar motor.
 - R – Radio.
 - M – Mayday.
 - S – Seguridad.
- Convertir aproximadamente °C a °F = multiplicar por 2 y añadir 30 (o 32):

$$35^{\circ} \text{C} * 2 = 70 + 30 = 100^{\circ} \text{F}$$
- Convertir aproximadamente °F a °C = restar 30 (o 32) y dividir por 2:

$$100^{\circ} \text{F} - 30 = 70 / 2 = 35^{\circ} \text{C}$$
- Convertir millas náuticas (NM) a km y viceversa (1 NM = 1,852 km):
 - Km a NM – dividir por 2 y añadir el 10%.
 - NM a km – doblar el número y restar el 10%.
 - 140 NM a km – $140 * 2 = 280 - 10\% \text{ de } 280 = 280 - 28 = 252 \text{ km}.$
 - 252 km a NM – $252 / 2 = 126 + 10\% \text{ de } 126 = 126 + 12,6 = 138 \text{ km}.$

Tabla A-1. Actitudes peligrosas en los pilotos y su antídoto. Fuente: FAA.

Item	Actitud	Descripción	Antídoto
1	Antiautoridad	No me digas lo que tengo que hacer, sé cómo volar seguro, no necesito listas de comprobación. Si vuelo con mal tiempo, sé cómo salir.	Sigue las reglas que han sido comprobadas y mejoradas por miles de pilotos con miles de horas de vuelo.
2	Impulsividad	Decisiones rápidas y precipitadas. Meterse dentro de una nube pensando que así ahorro tiempo y no debo rodearla, sin pensar cuál es el grueso de la nube, aparte de que un piloto VFR lo tiene prohibido.	Piensa primero. Planifica antes del vuelo y mejora tu experiencia. Un vuelo nunca es igual a otro.
3	Macho	Soy bueno, puedo hacerlo, soy único, soy mejor que los demás pilotos.	Los accidentes no impresionan a nadie. Lo que impresiona son las decisiones correctas.
4	Invulnerabilidad	A mí no me va a ocurrir.	No soy especial. También me puede ocurrir a mí.
5	Resignación	Si algo me ocurre será la fatalidad. El destino está escrito en cada persona.	No se rinda. Esté preparado. Mejore en cada vuelo. Vaya acompañado de otro piloto.
6	<i>Homeitis o get there it is</i>	Ansia de llegar al campo de destino.	Riesgo de aumentar la velocidad y el gasto de combustible y entrar en condiciones meteorológicas marginales para llegar al campo, en lugar de aterrizar en un campo alternativo.
7	Presión (peer pressure)	Permitir que otra persona en el avión tome las decisiones siendo yo el comandante.	Saque de su mente la presión que le ejercen y tome usted mismo sus propias decisiones.

CÓDIGO MORSE

El código Morse es un método de comunicación de puntos y rayas, en donde un punto es un sonido corto y la raya uno largo, siendo la combinación de esos puntos y rayas las diversas letras del alfabeto, según muestra la Tabla A-2. En aviación los códigos de identificación de los NDB y VOR figuran en código Morse.

Tabla A-2. Código Morse.

Letra	Código Morse	Letra	Código Morse	Letra	Código Morse	Letra	Código Morse
A	. _	J	. _ _ _	S	. . .	1	. _ _ _ _
B	_ . . .	K	_ . _	T	_	2	. . _ _ _
C	_ . _ .	L	. . _ _	U	. . _	3	. . . _ _
D	_ . .	M	_ _	V	. . . _	4 _
E	.	N	_ .	W	. _ _	5
F	. . _ .	0	_ _ _ _	X	_ . . _	6	_
G	_ _ .	P	. _ _ .	Y	_ . _ _	7	_ _ . . .
H	Q	_ _ . _	Z	_ _ . .	8	_ _ _ . .
I	. .	R	. _ .	0	_ _ _ _ _	9	_ _ _ _ .

TABLA DE EQUIVALENCIAS

Tabla A-3. Equivalencias metros a pies.

Metros a pies (m/ft) (1 m = 3,2808 ft)										
Metros	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	3	7	10	13	16	20	23	26	30
10	33	36	39	43	46	49	52	56	59	62
20	66	69	72	75	79	82	85	89	92	95
30	98	102	105	108	112	115	118	121	125	128
40	131	135	138	141	144	148	151	154	157	161
50	164	167	171	174	177	180	184	187	190	194
60	197	200	203	207	210	213	217	220	223	226
70	230	233	236	239	243	246	249	253	256	259
80	262	266	269	272	276	279	282	285	289	292
90	295	299	302	305	308	312	315	318	322	325
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	328	361	394	427	459	492	525	558	591	623
200	656	689	722	755	787	820	853	886	919	951
300	984	1.017	1.050	1.083	1.115	1.148	1.181	1.214	1.247	1.280
400	1.312	1.345	1.378	1.411	1.444	1.476	1.509	1.542	1.575	1.608
500	1.640	1.673	1.706	1.739	1.772	1.804	1.837	1.870	1.903	1.936

Metros a pies (m/ft) (1 m = 3,2808 ft)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
600	1.968	2.001	2.034	2.067	2.100	2.133	2.165	2.198	2.231	2.264
700	2.297	2.329	2.362	2.395	2.428	2.461	2.493	2.526	2.559	2.592
800	2.625	2.657	2.690	2.723	2.756	2.789	2.821	2.854	2.887	2.920
900	2.953	2.986	3.018	3.051	3.084	3.117	3.150	3.182	3.215	3.248
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1.000	3.281	3.609	3.937	4.265	4.593	4.921	5.249	5.577	5.905	6.234
2.000	6.562	6.890	7.218	7.546	7.874	8.202	8.530	8.858	9.186	9.514
3.000	9.842	10.170	10.499	10.827	11.155	11.483	11.811	12.139	12.467	12.795
4.000	13.123	13.451	13.779	14.107	14.436	14.764	15.092	15.420	15.748	16.076
5.000	16.404	16.732	17.060	17.388	17.716	18.044	18.372	18.701	19.029	19.357
6.000	19.685	20.013	20.341	20.669	20.997	21.325	21.653	21.981	22.309	22.638
7.000	22.966	23.294	23.622	23.950	24.278	24.606	24.934	25.262	25.590	25.918
8.000	26.246	26.574	26.903	27.231	27.559	27.887	28.215	28.543	28.871	29.199
9.000	29.527	29.855	30.183	30.511	30.840	31.168	31.496	31.824	32.152	32.480

Tabla A-4. Equivalencias pies a metros.

Pies a metros (ft/m) (1 pie (ft) = 0,3048 m)										
Pies	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,3	0,61	0,91	1,22	1,52	1,83	2,13	2,44	2,74
10	3,05	3,35	3,66	3,96	4,27	4,57	4,88	5,18	5,49	5,79
20	6,1	6,4	6,71	7,01	7,32	7,62	7,92	8,23	8,53	8,84
30	9,14	9,45	9,75	10,06	10,36	10,67	10,97	11,28	11,58	11,89
40	12,19	12,5	12,8	13,11	13,41	13,72	14,02	14,33	14,63	14,94
50	15,24	15,54	15,85	16,15	16,46	16,76	17,07	17,37	17,68	17,98
60	18,29	18,59	18,9	19,2	19,51	19,81	20,12	20,42	20,73	21,03
70	21,34	21,64	21,95	22,25	22,56	22,86	23,16	23,47	23,77	24,08
80	24,38	24,69	24,99	25,3	25,6	25,91	26,21	26,52	26,82	27,13
90	27,43	27,74	28,04	28,35	28,65	28,96	29,26	29,57	29,87	30,18
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	30,48	33,53	36,58	39,62	42,67	45,72	48,77	51,82	54,86	57,91
200	60,96	64,01	67,06	70,1	73,15	76,2	79,25	82,3	85,34	88,39
300	91,44	94,49	97,54	100,58	103,63	106,68	109,73	112,78	115,82	118,87
400	121,92	124,97	128,02	131,06	134,11	137,16	140,21	143,26	146,3	149,35
500	152,4	155,45	158,5	161,54	164,59	167,64	170,69	173,74	176,78	179,83
600	182,88	185,93	188,98	192,02	195,07	198,12	201,17	204,22	207,26	210,31
700	213,36	216,41	219,46	222,5	225,55	228,6	231,65	234,7	237,74	240,79
800	243,84	246,89	249,94	252,98	256,03	259,08	262,13	265,18	268,22	271,27
900	274,32	277,37	280,42	283,46	286,51	289,56	292,61	295,66	298,7	301,75

Pies a metros (ft/m) (1 pie (ft) = 0,3048 m)										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
1.000	304,8	335,28	365,76	396,24	426,72	457,2	487,68	518,16	548,64	579,12
2.000	609,6	640,08	670,56	701,04	731,52	762	792,48	822,96	853,44	883,92
3.000	914,4	944,88	975,36	1.005,84	1.036,32	1.066,8	1.097,28	1.127,76	1.158,24	1.188,72
4.000	1.219,2	1.249,68	1.280,16	1.310,64	1.341,12	1.371,6	1.402,08	1.432,56	1.463,04	1.493,52
5.000	1524	1.554,48	1.584,96	1.615,44	1.645,92	1.676,4	1.706,88	1.737,36	1.767,84	1.798,32
6.000	1.828,8	1.859,28	1.889,76	1.920,24	1.950,72	1.981,2	2.011,68	2.042,16	2.072,64	2.103,12
7.000	2.133,6	2.164,08	2.194,56	2.225,04	2.255,52	2.286	2.316,48	2.346,96	2.377,44	2.407,92
8.000	2.438,4	2.468,88	2.499,36	2.529,84	2.560,32	2.590,8	2.621,28	2.651,76	2.682,24	2.712,72
9.000	2.743,2	2.773,68	2.804,16	2.834,64	2.865,12	2.895,6	2.926,08	2.956,56	2.987,04	3.017,52
	0	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000
10.000	3.048	3.352,8	3.657,6	3.962,4	4.267,2	4.572	4.876,8	5.181,6	5.486,4	5.791,2
20.000	6.096	6.400,8	6.705,6	7.010,4	7.315,2	7.620	7.924,8	8.229,6	8.534,4	8.839,2
30.000	9.144	9.448,8	9.753,6	10.058,4	10.363,2	10.668	10.972,8	11.277,6	11.582,4	11.887,2
40.000	12.192	12.496,8	12.801,6	13.106,4	13.411,2	13.716	14.020,8	14.325,6	14.630,4	14.935,2
50.000	15.240	15.544,8	15.849,6	16.154,4	16.459,2	16.764	17.068,8	17.373,6	17.678,4	17.983,2

Tabla A-5. Equivalencias millas náuticas a km / km a millas náuticas.

Km a millas náuticas (Km/nm) (1 Km = 0,53996 millas náuticas)										
Km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,54	1,08	1,62	2,16	2,7	3,24	3,78	4,32	4,86
10	5,4	5,94	6,48	7,02	7,56	8,1	8,64	9,18	9,72	10,26
20	10,8	11,34	11,88	12,42	12,96	13,5	14,04	14,58	15,12	15,66
30	16,2	16,74	17,28	17,82	18,36	18,9	19,44	19,98	20,52	21,06
40	21,6	22,14	22,68	23,22	23,76	24,3	24,84	25,38	25,92	26,46
50	27	27,54	28,08	28,62	29,16	29,7	30,24	30,78	31,32	31,86
60	32,4	32,94	33,48	34,02	34,56	35,1	35,64	36,18	36,72	37,26
70	37,8	38,34	38,88	39,42	39,96	40,5	41,04	41,58	42,12	42,66
80	43,2	43,74	44,28	44,82	45,36	45,9	46,44	46,98	47,52	48,06
90	48,6	49,14	49,68	50,22	50,76	51,3	51,84	52,38	52,92	53,46
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	54	59,4	64,8	70,19	75,59	80,99	86,39	91,79	97,19	102,59
200	107,99	113,39	118,79	124,19	129,59	134,99	140,39	145,79	151,19	156,59
300	161,99	167,39	172,79	178,19	183,59	188,99	194,39	199,79	205,18	210,58
400	215,98	221,38	226,78	232,18	237,58	242,98	248,38	253,78	259,18	264,58
500	269,98	275,38	280,78	286,18	291,58	296,98	302,38	307,78	313,18	318,58
600	323,98	329,38	334,78	340,17	345,57	350,97	356,37	361,77	367,17	372,57
700	377,97	383,37	388,77	394,17	399,57	404,97	410,37	415,77	421,17	426,57
800	431,97	437,37	442,77	448,17	453,57	458,97	464,37	469,77	475,16	480,56
900	485,96	491,36	496,76	502,16	507,56	512,96	518,36	523,76	529,16	534,56

Millas náuticas a Km (nm/Km) (1 milla náutica = 1,852 kilómetros)										
NM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1,85	3,7	5,56	7,41	9,26	11,11	12,96	14,82	16,67
10	18,52	20,37	22,22	24,08	25,93	27,78	29,63	31,48	33,34	35,19
20	37,04	38,89	40,74	42,60	44,45	46,30	48,15	50,00	51,86	53,71
30	55,56	57,41	59,26	61,12	62,97	64,82	66,67	68,52	70,38	72,23
40	74,08	75,93	77,78	79,64	81,49	83,34	85,19	87,04	88,90	90,75
50	92,60	94,45	96,30	98,16	100,01	101,86	103,71	105,56	107,42	109,27
60	111,12	112,97	114,82	116,68	118,53	120,38	122,23	124,08	125,94	127,79
70	129,64	131,49	133,34	135,20	137,05	138,90	140,75	142,60	144,46	146,31
80	148,16	150,01	151,86	153,72	155,57	157,42	159,27	161,12	162,98	164,83
90	166,68	168,53	170,38	172,24	174,09	175,94	177,79	179,64	181,50	183,35
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	185,20	203,72	222,24	240,76	259,28	277,80	296,32	314,84	333,36	351,88
200	370,40	388,92	407,44	425,96	444,48	463,00	481,52	500,04	518,56	537,08
300	555,60	574,12	592,64	611,16	629,68	648,20	666,72	685,24	703,76	722,28
400	740,80	759,32	777,84	796,36	814,88	833,40	851,92	870,44	888,96	907,48
500	926,00	944,52	963,04	981,56	1.000,08	1.018,60	1.037,12	1.055,64	1.074,16	1.092,68
600	1.111,20	1.129,72	1.148,24	1.166,76	1.185,28	1.203,80	1.222,32	1.240,84	1.259,36	1.277,88
700	1.296,40	1.314,92	1.333,44	1.351,96	1.370,48	1.389,00	1.407,52	1.426,04	1.444,56	1.463,08
800	1.481,60	1.500,12	1.518,64	1.537,16	1.555,68	1.574,20	1.592,72	1.611,24	1.629,76	1.648,28
900	1.666,80	1.685,32	1.703,84	1.722,36	1.740,88	1.759,40	1.777,92	1.796,44	1.814,96	1.833,48

Tabla A-6. Equivalencias centígrados a fahrenheit / fahrenheit a centígrados.

Centígrados a fahrenheit (F = (9/5)*C + 32)									
C	F	C	F	C	F	C	F	C	F
-60	-76	-33	-27,4	-6	21,2	21	69,8	48	118,4
-59	-74,2	-32	-25,6	-5	23	22	71,6	49	120,2
-58	-72,4	-31	-23,8	-4	24,8	23	73,4	50	122
-57	-70,6	-30	-22	-3	26,6	24	75,2	51	123,8
-56	-68,8	-29	-20,2	-2	28,4	25	77	52	125,6
-55	-67	-28	-18,4	-1	30,2	26	78,8	53	127,4
-54	-65,2	-27	-16,6	0	32	27	80,6	54	129,2
-53	-63,4	-26	-14,8	1	33,8	28	82,4	55	131
-52	-61,6	-25	-13	2	35,6	29	84,2	56	132,8
-51	-59,8	-24	-11,2	3	37,4	30	86	57	134,6
-50	-58	-23	-9,4	4	39,2	31	87,8	58	136,4
-49	-56,2	-22	-7,6	5	41	32	89,6	59	138,2
-48	-54,4	-21	-5,8	6	42,8	33	91,4	60	140
-47	-52,6	-20	-4	7	44,6	34	93,2	61	141,8
-46	-50,8	-19	-2,2	8	46,4	35	95	62	143,6
-45	-49	-18	-0,4	9	48,2	36	96,8	63	145,4

Centígrados a fahrenheit (F = (9/5)*C + 32)									
C	F	C	F	C	F	C	F	C	F
-44	-47,2	-17	1,4	10	50	37	98,6	64	147,2
-43	-45,4	-16	3,2	11	51,8	38	100,4	65	149
-42	-43,6	-15	5	12	53,6	39	102,2	66	150,8
-41	-41,8	-14	6,8	13	55,4	40	104	67	152,6
-40	-40	-13	8,6	14	57,2	41	105,8	68	154,4
-39	-38,2	-12	10,4	15	59	42	107,6	69	156,2
-38	-36,4	-11	12,2	16	60,8	43	109,4	70	158
-37	-34,6	-10	14	17	62,6	44	111,2	71	159,8
-36	-32,8	-9	15,8	18	64,4	45	113	72	161,6
-35	-31	-8	17,6	19	66,2	46	114,8	73	163,4
-34	-29,2	-7	19,4	20	68	47	116,6	74	165,2

Fahrenheit a centígrados (C = (5/9)*F - (5/9)* 32)													
F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
-76	-60	-39	-39,44	-2	-18,89	35	1,67	72	22,22	109	42,78	146	63,33
-75	-59,44	-38	-38,89	-1	18,33	36	2,22	73	22,78	110	43,33	147	63,89
-74	-58,89	-37	-38,33	0	-17,78	37	2,78	74	23,33	111	43,89	148	64,44
-73	-58,33	-36	-37,78	1	-17,22	38	3,33	75	23,89	112	44,44	149	65
-72	-57,78	-35	-37,22	2	-16,67	39	3,89	76	24,44	113	45	150	65,56
-71	-57,22	-34	-36,67	3	-16,11	40	4,44	77	25	114	45,56	151	66,11
-70	-56,67	-33	-36,11	4	-15,56	41	5	78	25,56	115	46,11	152	66,67
-69	-56,11	-32	-35,56	5	-15	42	5,56	79	26,11	116	46,67	153	67,22
-68	-55,56	-31	-35	6	-14,44	43	6,11	80	26,67	117	47,22	154	67,78
-67	-55	-30	-34,44	7	-13,89	44	6,67	81	27,22	118	47,78	155	68,33
-66	-54,44	-29	-33,89	8	-13,33	45	7,22	82	27,78	119	48,33	156	68,89
-65	-53,89	-28	-33,33	9	-12,78	46	7,78	83	28,33	120	48,89	157	69,44
-64	-53,33	-27	-32,78	10	-12,22	47	8,33	84	28,89	121	49,44	158	70
-63	-52,78	-26	-32,22	11	-11,67	48	8,89	85	29,44	122	50	159	70,56
-62	-52,22	-25	-31,67	12	-11,11	49	9,44	86	30	123	50,56	160	71,11
-61	-51,67	-24	-31,11	13	-10,56	50	10	87	30,56	124	51,11	161	71,67
-60	-51,11	-23	-30,56	14	-10	51	10,56	88	31,11	125	51,67	162	72,22
-59	-50,56	-22	-30	15	-9,44	52	11,11	89	31,67	126	52,22	163	72,78
-58	-50	-21	-29,44	16	-8,89	53	11,67	90	32,22	127	52,78	164	73,33
-57	-49,44	-20	-28,89	17	-8,33	54	12,22	91	32,78	128	53,33	165	73,89
-56	-48,89	-19	-28,33	18	-7,78	55	12,78	92	33,33	129	53,89	166	74,44
-55	-48,33	-18	-27,78	19	-7,22	56	13,33	93	33,89	130	54,44	167	75
-54	-47,78	-17	-27,22	20	-6,67	57	13,89	94	34,44	131	55	168	75,56
-53	-47,22	-16	-26,67	21	-6,11	58	14,44	95	35	132	55,56	169	76,11
-52	-46,67	-15	-26,11	22	-5,56	59	15	96	35,56	133	56,11	170	76,67

Fahrenheit a centígrados (C = (5/9)*F - (5/9)* 32)													
F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
-51	-46,11	-14	-25,56	23	-5	60	15,56	97	36,11	134	56,67	171	77,22
-50	-45,56	-13	-25	24	-4,44	61	16,11	98	36,67	135	57,22	172	77,78
-49	-45	-12	-24,44	25	-3,89	62	16,67	99	37,22	136	57,78	173	78,33
-48	-44,44	-11	-23,89	26	-3,33	63	17,22	100	37,78	137	58,33	174	78,89
-47	-43,89	-10	-23,33	27	-2,78	64	17,78	101	38,33	138	58,89	175	79,44
-46	-43,33	-9	-22,78	28	-2,22	65	18,33	102	38,89	139	59,44	176	80
-45	-42,78	-8	-22,22	29	-1,67	66	18,89	103	39,44	140	60	177	80,56
-44	-42,22	-7	-21,67	30	-1,11	67	19,44	104	40	141	60,56	178	81,11
-43	-41,67	-6	-21,11	31	-0,56	68	20	105	40,56	142	61,11	179	81,67
-42	-41,11	-5	-20,56	32	0	69	20,56	106	41,11	143	61,67	180	82,22
-41	-40,56	-4	-20	33	0,56	70	21,11	107	41,67	144	62,22	181	82,78
-40	-40	-3	-19,44	34	1,11	71	21,67	108	42,22	145	62,78	182	83,33

Tabla A-7. Equivalencias galones americanos a litros / litros a galones americanos.

Litros a galones americanos (1 l = 0,26418 galones USA)						Galones americanos a litros (1 galón USA = 3,7852979 l)					
Litros	Galones	Litros	Galones	Litros	Galones	Galones	Litros	Galones	Litros	Galones	Litros
1	0,26	41	10,83	81	21,4	1	3,79	41	155,2	81	306,61
2	0,53	42	11,1	82	21,66	2	7,57	42	158,98	82	310,39
3	0,79	43	11,36	83	21,93	3	11,36	43	162,77	83	314,18
4	1,06	44	11,62	84	22,19	4	15,14	44	166,55	84	317,97
5	1,32	45	11,89	85	22,46	5	18,93	45	170,34	85	321,75
6	1,59	46	12,15	86	22,72	6	22,71	46	174,12	86	325,54
7	1,85	47	12,42	87	22,98	7	26,5	47	177,91	87	329,32
8	2,11	48	12,68	88	23,25	8	30,28	48	181,69	88	333,11
9	2,38	49	12,94	89	23,51	9	34,07	49	185,48	89	336,89
10	2,64	50	13,21	90	23,78	10	37,85	50	189,26	90	340,68
11	2,91	51	13,47	91	24,04	11	41,64	51	193,05	91	344,46
12	3,17	52	13,74	92	24,3	12	45,42	52	196,84	92	348,25
13	3,43	53	14	93	24,57	13	49,21	53	200,62	93	352,03
14	3,7	54	14,27	94	24,83	14	52,99	54	204,41	94	355,82
15	3,96	55	14,53	95	25,1	15	56,78	55	208,19	95	359,6
16	4,23	56	14,79	96	25,36	16	60,56	56	211,98	96	363,39
17	4,49	57	15,06	97	25,63	17	64,35	57	215,76	97	367,17
18	4,76	58	15,32	98	25,89	18	68,14	58	219,55	98	370,96
19	5,02	59	15,59	99	26,15	19	71,92	59	223,33	99	374,74
20	5,28	60	15,85	100	26,42	20	75,71	60	227,12	100	378,53
21	5,55	61	16,11	200	52,84	21	79,49	61	230,9	200	757,06

Litros a galones americanos (1 l = 0,26418 galones USA)						Galones americanos a litros (1 galón USA = 3,7852979 l)					
Litros	Galones	Litros	Galones	Litros	Galones	Galones	Litros	Galones	Litros	Galones	Litros
22	5,81	62	16,38	300	79,25	22	83,28	62	234,69	300	1.135,59
23	6,08	63	16,64	400	105,67	23	87,06	63	238,47	400	1.514,12
24	6,34	64	16,91	500	132,09	24	90,85	64	242,26	500	1.892,65
25	6,6	65	17,17	600	158,51	25	94,63	65	246,04	600	2.271,18
26	6,87	66	17,44	700	184,93	26	98,42	66	249,83	700	2.649,71
27	7,13	67	17,7	800	211,34	27	102,2	67	253,61	800	3.028,24
28	7,4	68	17,96	900	237,76	28	105,99	68	257,4	900	3.406,77
29	7,66	69	18,23	1.000	264,18	29	109,77	69	261,19	1.000	3.785,3
30	7,93	70	18,49	2.000	528,36	30	113,56	70	264,97	2.000	7.570,6
31	8,19	71	18,76	3.000	792,54	31	117,34	71	268,76	3.000	11.355,89
32	8,45	72	19,02	4.000	1.056,72	32	121,13	72	272,54	4.000	15.141,19
33	8,72	73	19,29	5.000	1.320,9	33	124,91	73	276,33	5.000	18.926,49
34	8,98	74	19,55	6.000	1.585,08	34	128,7	74	280,11	6.000	22.711,79
35	9,25	75	19,81	7.000	1.849,26	35	132,49	75	283,9	7.000	26.497,09
36	9,51	76	20,08	8.000	2.113,44	36	136,27	76	287,68	8.000	30.282,38
37	9,77	77	20,34	9.000	2.377,62	37	140,06	77	291,47	9.000	34.067,68
38	10,04	78	20,61	10.000	2.641,8	38	143,84	78	295,25	10.000	37.852,98
39	10,3	79	20,87			39	147,63	79	299,04		
40	10,57	80	21,13			40	151,41	80	302,82		

Tabla A-8. *Ángulo entre la pista y la dirección del viento.*

Componente transversal del viento (nudos)									
Ángulo entre la pista y la dirección del viento									
Nudos	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
5	1	2	3	3	4	4	5	5	5
10	2	3	5	6	8	9	9	10	10
15	3	5	8	10	11	13	14	15	15
20	3	7	10	13	15	17	19	20	20
25	4	9	13	16	19	22	23	25	25
30	5	10	15	19	23	26	28	30	30
35	6	12	18	22	27	30	33	34	35
40	7	14	20	26	31	35	38	39	40
45	8	15	23	29	34	39	42	44	45
50	9	17	25	32	38	43	47	49	50
55	10	19	28	35	42	48	52	54	55
60	10	21	30	39	46	52	56	59	60
65	11	22	33	42	50	56	61	64	65
70	12	24	35	45	54	61	66	69	70

Componente transversal del viento (nudos)									
Ángulo entre la pista y la dirección del viento									
Nudos	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
75	13	26	38	48	57	65	70	74	75
80	14	27	40	51	61	69	75	79	80
85	15	29	43	55	65	74	80	84	85
90	16	31	45	58	69	78	85	89	90
95	16	32	48	61	73	82	89	94	95
100	17	34	50	64	77	87	94	98	100

Glosario de términos aeronáuticos



En este glosario figuran las definiciones más utilizadas en diversas publicaciones aeronáuticas (*Jeppesen Bottlang Airfield Manual*).

Acrobacia: Cualquier maniobra intencionada (toneles, rizos, Inmelman, etc.) que implique un cambio abrupto en la posición de vuelo, una posición anormal o una aceleración anormal, innecesaria para el vuelo normal. La notación Aresti es un sistema de aerotaquigrafía para pilotos y jueces de concursos de acrobacia.

Aeródromo: Área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.

Aeródromo controlado: Aeródromo en el que se facilita servicio de control de tránsito aéreo. Suele estar situado dentro de los espacios aéreos de clase B, clase C o clase D.

Nota: este término no implica que existe una zona de control, puesto que la misma no es requerida si el aeródromo está preparado solo para vuelos VFR.

Aeródromo de alternativa: Aeródromo al que podría dirigirse una aeronave cuando fuera imposible o no fuera aconsejable dirigirse al aeródromo previsto o aterrizar en el mismo.

Aeronáutica: El estudio o ciencia del vuelo.

Aeronave: Toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire distintas de las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.

Aerovía: Área de control o parte de ella dispuesta en forma de corredor y equipada con radioayudas para la navegación.

Ala cantilever: Ala fijada al fuselaje sin montantes externos ni cables.

Alerfa: Palabra clave utilizada para designar una fase de alerta (temor sobre la seguridad de una aeronave y de sus ocupantes).

Altitud: Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y el nivel medio del mar (MSL: *Mean Sea Level*).

Altitud de densidad: Altitud de presión referida a la densidad real del aire. Refiere el vuelo a la atmósfera estándar.

Altitud de presión: Altitud indicada por el altímetro al ajustarlo a la atmósfera estándar (1.013,2 mb o 29,92 pulgadas de mercurio).

Altura: Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto, y una referencia especificada.

Ángulo de ataque: Ángulo que forma el perfil del ala con la dirección del viento.

Aproximación final: Final del último viraje, viraje en base o viraje *inbound* de un procedimiento de aproximación, o punto en las proximidades de un aeródromo, desde el cual:

- 1) puede efectuarse un aterrizaje, o
- 2) puede iniciarse una aproximación fallida.

Área de control: Espacio aéreo controlado que se extiende hacia arriba desde un límite especificado sobre el terreno.

Área de control terminal: (TMA) Área de control establecida generalmente en la confluencia de rutas ATS (*Air Traffic Service*) en las inmediaciones de uno o más aeródromos principales.

Área de maniobras: Parte del aeródromo que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, excluyendo las plataformas.

Área de movimiento: Parte del aeródromo que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje, rodaje, formada por el área de maniobras y las plataformas.

Asesoramiento anticolidión: Asesoramiento prestado por una dependencia de servicios de tránsito aéreo, con indicación de maniobras específicas para ayudar al piloto a evitar un accidente.

Atmósfera tipo o estándar: Atmósfera que a nivel del mar tiene una presión de 1.013,2 mb (o 29,92 pulgadas de mercurio), una temperatura de 15 °C (59 °F), un gradiente térmico vertical de 2 °C (3,6 °F) por cada 1.000 pies, una disminución de presión de 110 mb por km (1 pulgada de mercurio cada 1.000 pies), una tropopausa de 36.000 pies (11 km) con una temperatura de -56,5 °C y un gradiente isotérmico vertical en la estratosfera hasta una altitud aproximada de 80.000 pies (24 km).

Autogiro: Aeronave con un rotor horizontal de gran tamaño, de giro libre, que es impulsada hacia adelante por un motor y una hélice propulsora. El inventor del autogiro fue De la Cierva.

Autoridad ATS competente: La autoridad apropiada designada por el Estado responsable de proporcionar los servicios de tránsito aéreo en el espacio aéreo que se trate.

Avión silencioso: Escasa contaminación acústica. Integra los motores en el fuselaje, dobla el área de salida de los gases de combustión para que con el mismo empuje la velocidad de salida sea menor.

Bernouilli: Daniel Bernouilli (1700-1782), autor de la ley que lleva su nombre, que afirma que la energía total de un fluido en movimiento se mantiene constante, es decir, si aumenta la velocidad disminuye la presión y viceversa, y que es la base de la sustentación generada por las alas.

Buys Ballot: Ley física que indica que un observador situado en el hemisferio norte y de espaldas al viento, tendrá la baja presión a su izquierda.

Centro coordinador de salvamento: Dependencia encargada de coordinar el servicio de búsqueda y salvamento dentro de una región determinada.

Centro de control de área: Dependencia establecida para facilitar servicio de control de tránsito aéreo a los vuelos controlados en sus áreas de jurisdicción.

Centro de gravedad (c.d.g): Punto donde está concentrado teóricamente el peso del avión.

Centro de información de vuelo: Dependencia establecida para facilitar servicio de información de vuelo y servicio de alerta.

Cizalladura del viento: Cambio repentino y brusco en la dirección o velocidad del viento. Peligrosa en el despegue y en el aterrizaje.

Comunicación aeroterrestre: Comunicación en ambos sentidos entre las aeronaves y las estaciones o puntos situados en la superficie de la tierra.

Condiciones IMC: (*Instrument Meteorological Conditions*). Condiciones meteorológicas expresadas en términos de visibilidad, distancia desde las nubes y techo de nubes, inferiores a los mínimos especificados para las condiciones meteorológicas de vuelo visual.

Condiciones VMC: (*Visual Meteorological Conditions*). Condiciones meteorológicas expresadas en términos de visibilidad, distancia desde las nubes y techo de nubes iguales o mejores que los mínimos especificados.

Control Local de la Torre (ATZ): (*Aerodrome Traffic Zone*). Área de control en forma de cilindro con su base y centro en un aeropuerto, altura unos 3.000 pies sobre el terreno y radio unas 5 millas.

Control de Tráfico Aéreo (ATC): Red de centros de control en ruta y de torres de control. Mantienen la separación entre aviones en vuelos IFR y servicio a aviones en vuelos VFR.

Control de zona (CTR): (*Control*). Área de control mayor que el ATZ, en forma de cilindro con un radio de unas 12 millas y altura mayor de 3.000 pies cuya misión es el control del tráfico visual y el instrumental.

Coriolis: Fuerza resultante de la rotación de la Tierra que desvía el viento a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur.

Datum: Línea o plano vertical imaginarios desde donde se toman todas las medidas de los brazos o distancias de los componentes del avión a dicha línea.

Derrape: Viraje con velocidad demasiado alta que lanza el avión fuera de la curva de viraje. La bola del coordinador de virajes se encuentra fuera del centro, hacia el exterior de la curva.

Derrota: Proyección sobre la superficie terrestre de la trayectoria de una aeronave expresada en grados a partir del norte (geográfico o magnético).

Detresfa: (*Diestrés Phase*). Palabra clave para determinar una fase de peligro, es decir, la situación en la que existe una razonable certeza de que una aeronave y sus ocupantes están amenazados de un peligro grave e inminente o que necesitan una asistencia inmediata.

DME: (*Distance Measuring Equipment*). Instrumento que mide la distancia en millas náuticas del avión a una estación VOR.

Empenaje: Conjunto de la cola de un avión. Contiene el timón de dirección y el timón de profundidad.

ELBA: (*Emergency Location Beacon*). Radiofaro de emergencia que se pone en marcha automáticamente al colisionar el avión. Puede accionarse manualmente pero solo durante unos pocos segundos, para evitar la puesta en marcha de la alarma de búsqueda consiguiente.

Entrenador básico de vuelo por instrumentos: Entrenador, equipado con los instrumentos apropiados, que simula el medio ambiente de la cabina de pilotaje de una aeronave en vuelo, en condiciones de vuelo instrumental.

Entrenador para procedimientos de vuelo: Entrenador que reproduce el medio ambiente de la cabina de pilotaje y simula las indicaciones de los instrumentos, las funciones simples de los mandos de las instalaciones y sistemas de a bordo, y la performance y las características de vuelo de las aeronaves de una clase determinada.

Estación aeronáutica: Estación terrestre del servicio móvil aeronáutico (a veces a bordo de un barco o en una estación orbital).

Factor de carga: Llamado factor g, es la relación entre el peso total soportado por la estructura del avión y el peso real del avión. Por ejemplo, en un viraje inclinado 60°, el factor de carga es de 2.

Fase de alerta: Situación en la cual se abriga temor por la seguridad de una aeronave y de sus ocupantes.

Fase de emergencia: Expresión genérica que significa, según el caso, fase de incertidumbre, de alerta o de peligro.

Fase de incertidumbre: Situación en la cual existe duda acerca de la seguridad de una aeronave y sus ocupantes.

Fase de peligro: Situación en la cual existen motivos justificados para creer que una aeronave y sus ocupantes están amenazados por un peligro inminente o que necesitan auxilio inmediato.

Giróscopo: Instrumento basado en un sólido de revolución que gira a gran velocidad (15.000 a 20.000 rpm), que tiene la propiedad de la rigidez en el espacio y de la precesión. Ligado al avión indica su posición y permite al piloto el vuelo sin referencias visuales (entre nubes, de noche).

Incerfa: Palabra clave utilizada para designar una fase de incertidumbre sobre la seguridad de una aeronave y de sus ocupantes.

Información Sigmet: Información expedida por una oficina de vigilancia meteorológica, relativa a la existencia real o prevista de fenómenos que puedan afectar la seguridad de las aeronaves en ruta.

LAAS: (*Local Area Augmentation System*). Sistema de aumento de área local que permite el aterrizaje en todo tipo de tiempo basado en las correcciones diferenciales hechas en tiempo real a la señal GPS.

Límite de autorización: Punto hasta el cual se concede a una aeronave una autorización de control de tráfico aéreo.

Manifold: (Indicador de la presión de admisión). Manómetro que mide la presión absoluta en el colector de entrada a los tubos de admisión del motor donde se introduce la mezcla aire/combustible en los cilindros.

Masa máxima: Masa máxima certificada de despegue.

METAR: Informe meteorológico horario en los aeropuertos.

Momento: Producto del peso de un componente por el brazo o distancia del componente a la línea datum.

Nivel: Término genérico referente a la posición vertical de una aeronave en vuelo, que significa indistintamente altura, altitud o nivel de vuelo.

Nivel de vuelo: Superficie de presión atmosférica constante que está relacionada con una presión especificada de 1013,2 hectopascals (1.013,2 milibares) y que está separada de otras superficies por intervalos de presión determinados. Un altímetro de presión calibrado según la atmósfera estándar:



- a) Fijado en el valor del QNH indicará altitud.
- b) Fijado en el valor del QFE indicará altura.
- c) Fijado a la presión de 1.013,2 milibares indicará niveles de vuelo.

Notam: (*Notice For Airmen*). Aviso que contiene información relativa al establecimiento, condición o modificación de cualquier instalación aeronáutica, servicio, procedimiento o peligro, cuyo conocimiento oportuno es esencial para el personal de vuelo.

Oficina ATS: Oficina creada con objeto de recibir los informes referentes a los servicios de tránsito aéreo y planes de vuelo que se presentan antes de la salida.

Oficina meteorológica: La designada para suministrar servicio meteorológico para la navegación aérea.

Oficina Notam internacional: Oficina designada por un Estado para el intercambio internacional de Notam.

Piloto al mando: Piloto responsable de la operación y seguridad de la aeronave, durante el tiempo de vuelo.

Pista: Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el despegue y aterrizaje de aeronaves. Tiene los números marcados en cada extremo que corresponden al rumbo magnético sin la última cifra. Así, un avión en la pista 13, indicará 130° en la brújula magnética.

Plan de vuelo: Información especificada proporcionada a las dependencias de los servicios de tránsito aéreo, relativa a un vuelo proyectado o a parte de un vuelo de una aeronave.

Plataforma: Área definida, destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

Pronóstico: Declaración de las condiciones meteorológicas previstas para una hora o período especificados y respecto a un área determinada.

Publicación de información aeronáutica: La publicada por cualquier Estado, o con su autorización, que contiene información aeronáutica de carácter duradero, indispensable para la navegación aérea.

Punto de notificación: Lugar geográfico especificado, utilizado para notificar la posición de la aeronave.

Punto de recorrido: Un lugar geográfico especificado, utilizado para definir una ruta de navegación de área o la trayectoria de vuelo de una aeronave que usa navegación de área.

Punto significativo: Un lugar geográfico especificado, utilizado para definir la ruta ATS o la trayectoria de vuelo de una aeronave, y para otros fines de navegación y ATS.

Región de información de vuelo: Espacio aéreo de dimensiones definidas, dentro del cual se proporcionan servicios de información y alerta.

Resbale: Viraje con velocidad demasiado baja que lanza el avión hacia adentro de la curva de viraje. La bola del coordinador de viraje cae hacia el interior de la curva.

Respondedor: (*Transponder*). Radar emisor-receptor transportado por el avión (radar secundario), que responde en 1.090 MHz al ser interrogado por el radar de tierra a 1.030 MHz.

Ring Laser Gyro (RLG): Sistema de referencia inercial que equivale a un instrumento giroscópico pero sin los inconvenientes de rozamiento y por lo tanto de precesión.

Rodaje: Movimiento autopropulsado de una aeronave, excluido el despegue y aterrizaje. En el caso de los helicópteros, se incluye el movimiento sobre la superficie de un aeródromo dentro de una banda de altura asociada con el efecto del suelo y a unas velocidades asociadas con el rodaje, es decir, rodaje aéreo.

Ruta ATS: Ruta especificada que se ha designado para canalizar la corriente de tránsito según sea necesario para proporcionar servicio de tránsito aéreo.

Ruta con servicio de asesoramiento: Ruta designada a lo largo de la cual se proporciona servicio de asesoramiento.

RNAV (Navegación de área): Permite navegar por rutas que no están apoyadas en estaciones VOR, mediante la creación de estaciones fantasma.

Servicio de alerta: Servicio suministrado para notificar a los organismos pertinentes información respecto a aeronaves que necesitan servicio de búsqueda y salvamento, y auxiliar a dichos organismos según convenga.

Servicio de asesoramiento de tránsito aéreo: Servicio que se suministra en el espacio aéreo con asesoramiento para que, dentro de lo posible, se mantenga la debida separación entre las aeronaves que operan con plan de vuelo IFR.

Servicio de control de aeródromo: Servicio de control de tránsito aéreo para el tránsito de aeródromo.

Servicio de control de aproximación: Servicio de control de tránsito aéreo para la llegada y salida de vuelos controlados.

Servicio de control de área: Servicio de control de tránsito aéreo para los vuelos controlados en las áreas de control.

Servicio de información de vuelo (AFIS): Servicio de telecomunicaciones de tráfico de aeródromo, que se suministran primordialmente para seguridad de la navegación aérea y para que sea regular, eficiente y económica la operación de los servicios aéreos en vuelo y en tierra.

TCAS: (*Traffic-Alert and Collision Avoidance System*). Sistema autónomo de la aeronave, basado en el respondedor, que interroga a los demás aviones y la respuesta es analizada por el ordenador del TCAS que calcula su altitud, rumbo y velocidad, y presenta en pantalla un mapa de tres dimensiones de sus movimientos.

Torre de control de aeródromo: Dependencia establecida para facilitar servicio de control de tránsito aéreo al tránsito de aeródromo.

Tránsito aéreo: Todas las aeronaves que se hallan en vuelo y las que circulan por el área de maniobras de un aeródromo determinado.

Tránsito de aeródromo: Todo el tránsito que tiene lugar en el área de maniobras de un aeródromo, y todas las aeronaves que vuelen en sus inmediaciones.

Viento cortante (*windshear*): Corrientes verticales descendentes de corta duración que parten de una nube y se esparcen hacia el suelo, golpeando frontalmente las alas de un avión.

Vuelo controlado: Todo vuelo supeditado a una autorización del control de tránsito aéreo.

Vuelo IFR: Vuelo efectuado de acuerdo con las reglas de vuelo por instrumentos.

Vuelo VFR: Vuelo efectuado de acuerdo con las reglas de vuelo visual.

Vuelo VFR especial: Vuelo VFR al que el control de tráfico aéreo ha concedido autorización para que se realice dentro de una zona de control en condiciones meteorológicas inferiores a las visuales (VMC).

Zona de control: Espacio aéreo controlado que se extiende hacia arriba desde la superficie terrestre hasta un límite superior especificado.

Bibliografía



- AOPA. *Safety Advisor*. Información general sobre el tiempo, psicología, normas, tecnología, operaciones y entretenimiento. Fuente: <http://www.aopa.org/asf/publications/advisors.html> (Consultado: 21 de julio de 2009).
- Jeppesen VFR Manual. *A boeing company*. Edita: Jeppesen. A boeing company, 2009.
- Caudevilla, P., Ortiz, P., Pérez-Sastre, J. y Salinas, J. *Conceptos básicos de medicina y psicología aeronáutica para pilotos*. American Flyers, 1994.
- O'Brien, R. y Thomson, Ph. D. Colección científica de LIFE en español. *Fenómenos atmosféricos*. Offset Multicolor, 1966.
- Conde Asorey, L. y Poyo-Guerrero, J. *Curso de Normativa para Tripulantes de Cabina de Pasajeros*. TADAIR S.A., 2005.
- Creus, A. *Fiabilidad y Seguridad. Su aplicación en los procesos industriales*. 2ª edición. Boixareu Editores, 2005.
- Du Puy de Goyne, Th., Plays, Y., Lepourry, P., Besse, J. *Initiation à l'aéronautique*. Cépaduès Editions, 2005.
- Du Puy de Goyne, Th., Roumens, A., Lepourry, P. *Instruments de Bord*. Cépaduès Editions, 2008.
- Editors Of Flying Magazine. *Pilot error: Anatomies of Aircraft Accidents*. Van Nostrand Reinhold Book, 1977.
- Editors of Flying Magazine. *I learned about flying from that*. TAB Books McGraw-Hill, 2009.
- Esteban, J. C. *Técnica de Vuelo*, 1998.
- Evans, J. *Is It On Autopilot*. Airline Publishing Ltda., 1997.
- Fay, J. *Cómo vuelan los helicópteros*. Editorial Paraninfo, 1983.



- Federal Aviation Administration, *Recip Technology/Turbine Technology (The Best of AMT Magazine)*. Aviation Supplies & Academics Inc., 1996.
- Federal Aviation Administration, *Professional Legal & FAA Issues (The Best of AMT Magazine)*. Aviation Supplies & Academics Inc., 1996.
- Franco, A. *Características de las coordenadas UTM y descripción de este tipo de coordenadas*, 2000. Fuente: http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas_utm.html (Consulta: 21 de julio de 2009).
- Gatland, K. *The Illustrated Encyclopedia Of Space Technology: Revised Edition*. Ediciones Crown, 1990.
- General Electric. *Seven Decades of Progress: A Heritage of Aircraft Turbine Technology (Unknown Binding)*. Aero Publishers, 1979.
- Green, W. *El caza cohete*. Librería Editorial San Martín, 1974.
- Gremminger, G. *How to save gyropilot lives stop Pilot Error*. Información de Air Hispania. www.magnigyro.com/USA/feature_articles/ADM-Gyros.pdf (Consulta: 09 febrero 2009).
- Groene, G. & J. *The Cockpit Companion, Flight Assistance from the Right Seat*. Jones Publishing Inc., 1995.
- Gómez, B. R. y Rigoberto, C. Fuente: Sección piloto privado: <http://www.ginecoweb.com/Piloto%20Privado/Libro%20FAA-Weight%20and%20balance%20handbook.pdf>. Información que proporciona Aircraft Weight and Balance Handbook 2007 de FAA-H-8083-1A.
- Guillet, R., Genéty, J. *Medicina del Deporte*. Toray-Masson, 1978.
- Gunston, B., Spick, M. *Modern Fighting Helicopters*. Salamander Books, 1986.
- Heather, F. *Lightning Strikes and Aircraft Operational Performance*. Naval Air Systems Command, 2005.
- Hoffmann, V. *L'autogire, de la théorie à la pratique*. Cépaduès Editions, 1999.
- Hollwich, F. *Oftalmología*. Salvat Editores, 1981.
- IBERIA Líneas Aéreas de España S.A. *Manual Básico Operaciones de Vuelo*, 1992.
- Johnson, N., Wiegmann, D., Wickens, C. *Final Technical Report*, 2005.
- Karlson, P. *El hombre vuela*. Editorial Labor, 1940.
- L.F.E. Coombs. *The aircraft cockpit*. Thorsons Publishing Group, 1990.
- Langewiesche, W. *Stick and Rudder*. McGraw-Hill Book, 1944.
- Ludovic, A. Les Méfaits de l'hypoxie. *Aviation & Pilote* n° 239, 1993.
- Mattson, P. *Air Traffic Control*. Iap Inc, 1990.

- Muñoz Manuel. *Manual de vuelo*. www.manualvuelo.com
- Pérez, C. *Pilotos y Aventura*. Editorial Juventud, 1991.
- Portmann, M. *Manual de Otorrinolaringología*. Toray Masson, 1980.
- Prendergast, C. *Los primeros aviadores*. Time Life, 1981.
- Read, H. *Aeromedicina para aviadores*. Paraninfo, 1981.
- Stewart, S. *Flying the big jets*. Airline England, 1992.
- Tomás Rubio, S. *El transporte aéreo sin riesgos de mercancías peligrosas*. TADAIR S.A., 1998.
- Tomás Rubio, S. *Factores humanos para tripulantes cabina de pasajeros*. TADAIR S.A., 1996.
- U. S. Department of Transportation. *Manual básico de helicópteros*. Editorial Paraninfo, 1991.
- Vaughan, D., Asbury, T. *Oftalmología General*. El Manual Moderno, 1980
- Zöllner, F. *Otorrinolaringología*. Salvat Editores, 1981.

OTROS

- AirVenture Oshkosh. EAA, 2008
- AIRHISPANIA. *Líneas Aéreas Virtuales Vuelo Instrumental (IFR)*.
- AOPA's Handbook for Pilots Section 3 Aircraft Operations Aircraft Deicing and Anti-icing Equipment. Safety Advisor. AOPA.
- *Aviation Fuels Technical Review (FTR-3)* Copyright © 2000 Chevron Products Company, A division of Chevron U.S.A. Inc.
- Jeppesen. *Avionics Fundamentals*, 1974.
- AOPA. *Información general*.
- B.O.E. nº 64 (16/03/2000) sobre el Real Decreto 270/2000 Condiciones para el ejercicio de las funciones del personal de vuelo de las aeronaves civiles.
- Compendios sobre factores humanos de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) de Montreal (Canadá).
- Documentos: JAR (Joint Aviation Authorities), JAR-FCL1, JAR-FCL2, JAR-FCL3, JAR-66, JAR-145.
- *Effects of Advanced Cockpit Displays on General Aviation Pilots' Decisions to Continue Visual Flight Rules (VFR) Flight Into Instrument Meteorological Conditions (IMC)*.



- *Federal Aviation Administration Human Factors Team Report on: The Interfaces Between Flightcrews and Modern Flight Deck Systems*, 1996.
- *Fit to Fly, A medical Handbook for Pilots*. Medical Study Group British Air Line Pilots Association, 1988.
- *Flight Environment*. THUNDERSTORM HAZARDS Flight Training Manual by Transport Canada.
- *Flight Management Systems (FMS)*, Honeywell Aerospace, 2004-2006.
- Fly Light Recreational Aviation Australia Inc. Información general.
- <http://www.airliners.net/> (Consulta: 09 febrero 2009). Información general.
- *ILS navegación*. Flightsim Aviation Zone, 2006.
- *Introduction to TCAS2-US*. Department of Transportation. Versión 7/11/2000.
- *Lancair performance aircraft*, 2005.
- *Making the Skies Safe from Windshear*. Langley-developed sensors will help improve air safety, 1992.
- *Mantenimiento Autogiro Mach 15*. NICOPASUX, S.L., 2004.
- Manuales de AVIONS ROBIN.
- Ministerio de Fomento. 19751 Orden FOM/3811/2004, de 4 de noviembre, por la que se adoptan los requisitos conjuntos de aviación para las licencias de la tripulación de vuelo (JAR-FCL) relativos a las condiciones para el ejercicio de las funciones de los pilotos de los helicópteros civiles.
- Reglamento (ce) ni 730/2006 de la comisión, de 11 de mayo de 2006, relativo a la clasificación del espacio aéreo y al acceso de los vuelos efectuados de acuerdo con las reglas de vuelo visual por encima del nivel de vuelo 195 (1).
- Reglamento (ce) ni 551/2004 del parlamento europeo y del consejo de 10 de marzo de 2004, relativo a la organización y utilización del espacio aéreo en el cielo único europeo (Reglamento del espacio aéreo).
- Reglamento (ce) ni 551/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo de 10 de marzo de 2004, relativo a la organización y utilización del espacio aéreo en el cielo único europeo (Reglamento del espacio aéreo).
- Revistas: *Pilot, Plane & Pilot, Avion-Revue*.
- VM-1 Esqual. Información general del ultraligero de 3ª generación. www.esqual.se (Consulta: 09 febrero 2009).